

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE PEDRAS BRITADAS INSERIDAS NA BANDEJA DO POTABILIZADOR SOLAR DE VIDRO NA PRODUÇÃO DE ÁGUA

Renata Saviato Dias

Orientador: Márcio Cláudio Cardoso da Silva

2012.2



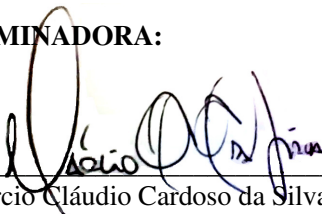
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E
AMBIENTAL

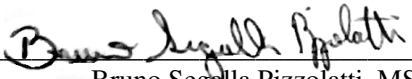
**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE PEDRAS BRITADAS
INSERIDAS NA BANDEJA DO POTABILIZADOR SOLAR DE
VIDRO NA PRODUÇÃO DE ÁGUA**

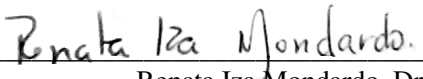
RENATA SAVIATO DIAS

Trabalho submetido à Banca
Examinadora como parte dos
requisitos para Conclusão do Curso
de Graduação em Engenharia
Sanitária e Ambiental.

BANCA EXAMINADORA:


Márcio Cláudio Cardoso da Silva, MSc.
(Orientador)


Bruno Segalla Pizzolatti, MSc.


Renata Iza Mondardo, Dr^a.

FLORIANÓPOLIS – SC / BRASIL
FEVEREIRO – 2013

Faço de minha graduação um ato de
oferenda e retribuição a toda
dedicação que meus pais, Idgar e
Eloisa, tiveram ao longo deste
período. Dedico-lhes esta conquista.
Amo vocês!

AGRADECIMENTOS

Para que este estudo fosse possível, algumas pessoas e instituições foram essenciais seja pela ajuda financeira, pelo apoio técnico e pessoal. Agradeço a todos estes que me ampararam e incentivaram na pesquisa realizada nestes mais de cinco meses. Fico grata também aos que participaram também de minha vida acadêmica, ainda que de uma forma ou de outra me ajudaram em trabalhos e atividades da universidade, além de me ensinarem a amizade e a convivência em grupos distintos.

Na parte técnica, agradeço ao meu orientador MSc. Márcio Cláudio Cardoso da Silva e meu co-orientador Professor Dr. Mauricio Luiz Sens pelo apoio à minha ideia de projeto e pelo aprimoramento de meu Trabalho de Conclusão de Curso. Retribuo aqui também por estas frases a ajuda que o colega MSc. Bruno Segalla Pizzolatti me ofereceu em momentos de dúvidas ainda antecedentes ao projeto. Agradeço ainda toda a equipe do Laboratório de Potabilização da Água (LAPOÁ-UFSC) pelos conselhos e sugestões durante o período em que estagiei.

Pelo apoio pessoal, sou grata aos meus pais que em momentos de dificuldades me trouxeram a calma e o apoio. Aos meus avôs pelas rezas, pelos pensamentos positivos e por sempre me esperarem. E agradeço as grandes amigadas que tive na faculdade, entre elas: Branda Vieira, Gabriela Miranda, Igor Puff e Ricardo Braun, obrigada! Sinto-me no dever de sempre retribuir tantas graças. Obrigada a todos!

SUMÁRIO

RESUMO.....	VI
ABSTRACT.....	VII
LISTA DE FIGURAS.....	VIII
LISTA DE TABELAS	X
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. OBJETIVOS	3
1.1.1. <i>Geral</i>	3
1.1.2. <i>Específicos</i>	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. DEFINIÇÃO DE DESTILAÇÃO SOLAR	4
2.1.1. <i>Parâmetros influentes na Destilação Solar</i>	5
2.1.2. <i>Processos envolvidos na Destilação Solar</i>	6
2.2. DEFINIÇÃO DE POTABILIZADORES SOLARES	7
2.2.1. <i>Formas de otimização do processo</i>	9
2.2.2. <i>Exemplos de aplicações de materiais rochosos</i>	13
2.2.3. <i>Conceitos termodinâmicos</i>	15
2.3. PESQUISAS DESENVOLVIDAS NO LAPOÁ.....	15
3. MATERIAIS E MÉTODOS	18
<i>IDEALIZAÇÃO DA PESQUISA</i>	18
3.1. CONSTRUÇÃO DOS PILOTOS.....	20
3.2. CARACTERIZAÇÃO DIÁRIA DO CLIMA E TEMPO	25
3.3. OPERAÇÃO.....	26
3.4. COLETAS DIÁRIAS DE PRODUÇÃO	28
3.5. ANÁLISE E TRATAMENTO DOS DADOS COLETADOS	30
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	32
4.1. CONSTRUÇÃO DOS PILOTOS.....	32
4.2. ESTUDOS DAS COLETAS DIÁRIAS	34
4.3. ESTUDO NAS BANDEJAS DE EVAPORAÇÃO	40

4.4.	ANÁLISE ECONÔMICA E AMBIENTAL.....	44
5.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	46
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47

RESUMO

A necessidade de produção de água potável é fato conhecido, porém os meios atuais de obtenção, como estações de tratamento de água, são de ambientes urbanos ou de suas proximidades geralmente. Além disto, utilizam produtos químicos e geram de resíduos do processo. Regiões afastadas ou isoladas, geralmente, são desprovidas dessas estações e de sistema de abastecimento de água. Isto traz prejuízos à população que se obriga a buscar alternativas, resultando em doenças e mortes. Neste contexto se encaixa a tecnologia da Potabilização Solar que faz uso do processo de destilação para purificação da água, porém com a vantagem de ter por fonte de energia o Sol – energia gratuita e ilimitada – e por não gerar resíduos tóxicos para o meio ambiente. A proposta desta pesquisa então é aumentar a produção de água de um Potabilizador Solar provendo-lhe novo design e fornecendo um acréscimo de calor para a lâmina d'água na bandeja. Este acréscimo térmico foi realizado pela introdução de britas basálticas na bandeja de evaporação para manter a temperatura da água no período sem sol. Com este aumento, maiores são a energia, a evaporação e, por consequência, a produção. Para isso, construíram-se dois pilotos potabilizadores em vidro, um com a adição do material (P1) e outro apenas com água (P2), possibilitando assim estudos comparativos. Durante os meses de Setembro a Dezembro de 2012, os dois pilotos foram operados no município de Foz do Iguaçu – PR e diariamente foram coletadas suas produções e temperatura da água de ambos, e dados do tempo como radiação, precipitação, ventos, nebulosidade, pressão atmosférica e umidade relativa. Após o término da operação, os dados foram trabalhados e os resultados demonstraram a viabilidade da utilização do material na bandeja P1. A eficiência do cascalho se mostrou positiva no período diurno, com ou sem a presença de sol, pois em dias de chuva P1 ainda produziu mais. Porém no período noturno, onde se esperava que as britas mantivessem a temperatura da água, houve um resfriamento térmico em P1 que se nivelou à temperatura de P2 no início da manhã. Contudo, houve a melhora na produção de água destilada, na qual em média dos quatro meses de operação, P2 produziu apenas 59% do que P1 gerou, totalizando, respectivamente, 25,1 (1,080 L/m².d) litros e 14,8 (0,652 L/m².d) litros para P1 e P2.

Palavras-chave: Potabilizador Solar, Produção de Água, Bandeja de evaporação, brita.

ABSTRACT

The production need for drinking water is known fact, but the actual means of production, such as water treatment plants, are unique to urban environments or in its vicinity, besides having chemical use and waste generation from the process. Isolated or remote regions are generally devoid of these stations and water supply system. This harms the population is forced to use unsafe water, resulting in illness and death. In this context fits Solar Purifiers technology that makes use of the distillation process to purify the water, but with the advantage of having an energy source provided by the sun - free and unlimited energy - and does not produce toxic waste into the environment. The purpose of this research then is to increase water production of a Solar Purifiers providing you with new design and providing an additional heat to the water tray. This increase thermal was conducted by introducing small gravels on the evaporation basin for increasing the water temperature. With this increase, the higher is the evaporation and consequently production. For this, was constructed two pilots on glass, one with the addition (P1) and the other with water only (P2), thus enabling comparative studies. During the months of September to December 2012, the two pilots were followed in the city of Foz do Iguaçu - PR and daily were accompanied the data of production and water temperature and climate data as radiation, precipitation, winds, cloudiness, air pressure and relative humidity. Upon completion of the operation, the data were worked out and the results demonstrated the feasibility of using the material in the basin. The efficiency of the gravels was positive for daytime, with or without the presence of sunlight as on rainy days when P1 productions was bigger than P2. But at night, when the stones were expected to keep the water temperature, there was a thermal cooling in P1 which was leveled at temperature of P2 in the early morning. However, there was an improvement in the production of distilled water average on the four months of operation, where P2 produced only 59% than P1 generated, totaling 25.1 (1,080 L/m².d) liters and 14.8 liters (0,652 L/m².d) for pilots 1 and 2 respectively.

Keywords: Solar Purifiers, Water Production, Evaporation Basin, Gravel.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema DICS. 1. Calha, 2. Bandejas de aço inoxidável, 3. Folhas de proteção, 4. Membrana de plástico preto com furos, 5. Tanque de aço inoxidável preto, 6. Policarbonato, 7. Placa dispersiva, 8. Entrada de água, 9. Fundação.....	10
Figura 2 – (a) Fotografia do Destilador com um absorvedor invertido, (b) Esquema do Destilador Solar.	10
Figura 3 – Esquema do protótipo com equipamento para retenção de calor.	12
Figura 4 – Produção versus hora para destiladores com e sem britas. ..	14
Figura 5 – Esquema detalhado do Potabilizador Solar.	16
Figura 6 - Destilador Solar de vidro.....	17
Figura 7 – ENS/UFSC: (a) Potabilizador Sextavado, (b) Potabilizador Solar (c) Piloto de Potabilizador Solar.....	19
Figura 8 – Montagem da cúpula superior.	21
Figura 9 – Vista interna do piloto no detalhe as arestas com silicone... ..	21
Figura 10 – Esquema do Potabilizador Solar de vidro.....	22
Figura 11 – Detalhe do sifão instalado na saída de água destilada do piloto.	23
Figura 12 – Esquema de dimensionamento dos pilotos.	24
Figura 13 – Detalhe da disposição das britas na bandeja P1.....	27
Figura 14 – Operação dos pilotos de vidro em Foz do Iguaçu – PR.....	28
Figura 15 – Piloto 2 com seu termômetro.	29
Figura 16 – Testes de vedação nos pilotos 1 e 2.	33
Figura 17 – Gráfico de Produções e Radiação Mensais.....	35

Figura 18 – Produção de água em função da Radiação e Temperatura Ambiental mínima, máxima e média.	40
Figura 19 - Perfil de temperatura mês de Outubro.....	42
Figura 20 - Perfil de temperatura mês de Novembro.	42
Figura 21 - Perfil de temperatura mês de Dezembro.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dimensionamento do Piloto de vidro.....	23
Tabela 2 – Dados finais do período de teste dos pilotos em Florianópolis.	32
Tabela 3 – Valores mensais de produção de água para P1 e P2.....	34
Tabela 4 – Valores mensais para P1 e P2.	35
Tabela 5 – Dados de produção e precipitação - 2012.	36
Tabela 7 – Dados de produção de água em Novembro-2012.	40
Tabela 8 – Temperaturas médias para coletas diurnas e noturnas.	41
Tabela 9 – Volumes de produção diurna e noturna em dias de coletas 14 h.	43
Tabela 10 – Dados de temperaturas máximas e mínimas da água da bandeja.	44
Tabela 11 – Custos de 2 pilotos de Potabilizador Solar de vidro e Equipamentos.....	45

1. Introdução

A preocupação acerca da falta de água é global e, principalmente, atual. Como cita a Lei das Águas N°. 9433/97, o direito legal das gerações futuras de usufruir dos mesmos recursos naturais de que gozamos nos dias de hoje já está comprometido, tanto pelo desperdício, quanto pela poluição ambiental.

A carência de água em muitas cidades brasileiras é fato conhecido, como em regiões do Semi-Árido por ocorrência de eventos de estresse hídrico onde a demanda de água se torna maior que a capacidade de oferta da fonte hídrica, podendo chegar à indisponibilidade. Além desta dificuldade de acesso, o fornecimento de água tratada é inexistente ou precário em muitas destas localidades, o que torna também a falta desta em preocupante quanto à qualidade. À medida que os reservatórios naturais de água vão se escasando, seus agravantes físicos, químicos e biológicos podem se tornam mais intensos.

Este problema ainda se estende a todo o território brasileiro onde o sistema de abastecimento de água potável não alcança a todos. Pequenas comunidades rurais afastadas dos grandes centros são um exemplo, pois também sofrem sem água potável para consumo. Os dois ambientes tratados aqui são distantes e distintos, os sertões e os campos interioranos, porém se encontram iguais na falta de saneamento básico público. A ausência de saneamento se apresenta num ciclo lesivo, onde a inexistência de coleta de esgotos contamina corpos hídricos e solos utilizados pelos consumidores que não têm escolha, sem abastecimento de água potável.

A falta de água potável para consumo humano traz doenças graves que resultam em inúmeras mortes por dia no país, especialmente no que se refere à população infantil. Um exemplo disso é a taxa de mortalidade infantil que tem entre as principais causas a desnutrição por diarreia aguda. Esta desidratação ocorre pelo contato com agentes infecciosos, fato ligado diretamente à falta de saneamento básico por onde doenças de via hídrica se veiculam e alastram-se.

Mesmo no Semi-Árido e em todo Brasil existem pontos onde a água é permanente, possibilitando que existam soluções para a falta de água potável. É neste contexto que se encaixa a tecnologia alternativa da Potabilização Solar, já testada e confirmada em sua eficiência de potabilizar águas salobras, salgadas e com contaminantes. O tratamento dado pelo equipamento chega aos 100% de remoção para parâmetros como, por exemplo, ovos de helmintos e cistos de giárdia coliformes totais e fecais, cores aparente e verdadeira. Além de ser uma

possibilidade de tratamento de água onde não são geradas grandes quantidades de resíduos como os lodos de estações de tratamento, e sem a utilização de agentes químicos, a tecnologia não usa energia elétrica, possibilitando sua utilização em qualquer lugar onde haja radiação solar.

A técnica de potabilizar água por meio da destilação solar já é estudada há anos, por diferentes etnias e denominada por diferentes nomes, o que comprova ainda mais sua validade. O nome dado por este estudo realizado no Laboratório de Potabilização da Água (LAPOÁ-UFSC) à tecnologia foi Potabilizador Solar e durante um (1) ano, acompanhou-se um potabilizador situado no terraço do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campus Trindade. Deste acompanhamento obtiveram-se dados de produção de água diária e informações climáticas. Assim, puderam-se obter algumas conclusões e suspeitas sobre seu funcionamento. Observou-se então uma deficiência na produção pelo resfriamento da água da bandeja no período noturno, o que diminui a destilação neste período e dificulta a evaporação nas primeiras horas da manhã.

A destilação, processo físico utilizado pela tecnologia no tratamento da água, ocorre de forma livre no ambiente, como no caso de lagos e mares. Já dentro do potabilizador, a evaporação é maior, pois as elevadas temperaturas no interior do potabilizador aceleram a evaporação. À noite, esta água perde calor para o meio e a destilação é diminuída ou até mesmo cessada. Logo, nas primeiras horas matinais, a energia solar não consegue reaquecer a água rapidamente, iniciando a produção somente nas proximidades do meio-dia.

À noite, certos materiais permanecem aquecidos por receberem energia solar durante o dia, e então se realizou uma pesquisa acerca de características destes materiais para aplicação na bandeja de evaporação. Assim surgiu o projeto de **Análise da Influência de Pedras Britadas Inseridas na Bandeja do Potabilizador Solar de Vidro na Produção de Água** que consiste no acompanhamento de dois pilotos de potabilizador, que por meio da comparação de seus resultados, avaliou-se a eficiência da implantação do material escolhido: britas (N°. 1).

Foram analisados parâmetros de tempo (velocidade dos ventos, direção, nebulosidade), clima (temperaturas, radiação, pressão atmosférica, umidade relativa) e dados provindos dos pilotos (produção diária de água diurna e noturna, temperatura da água da bandeja de evaporação). Após o período de coleta, os dados foram avaliados com a finalidade de comprovar a viabilidade da aplicação dos materiais.

1.1. Objetivos

1.1.1. Geral

Avaliar a utilização de um material inserido na bandeja de evaporação de um Potabilizador Solar a fim de aumentar a produção diária, pelo estudo comparativo entre dois pilotos.

1.1.2. Específicos

- Construir dois pilotos piramidais de vidro com 30° de inclinação da cúpula;
- Estudar o melhor material e implantá-lo em uma das bandejas de evaporação;
- Coletar dados de parâmetros internos e externos do processo;
- Medir a produção de água dos pilotos no período diurno e noturno;
- Comparar os dados obtidos para avaliar a viabilidade da implantação do material.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Definição de Destilação Solar

A potabilização envolve um processo de limpeza e purificação da água. O Ministério da Saúde na portaria N° 2.914 dispõe sobre os valores máximos e mínimos dos parâmetros que uma água potável deve apresentar para o apropriado consumo humano.

Então este processo de purificação é o tratamento dado a uma água, porém utilizado o sol como agente de potabilização e geralmente o principal processo envolvido é a destilação solar. Este tratamento já se mostrou possível e aplicável, pois diversas literaturas comprovam sua eficácia.

Arslan (2012) cita que o processo de destilação solar é uma tecnologia de futuro promissor, já que a energia solar é ecologicamente correta, sendo assim um método apropriado para famílias ou pequenos grupos em áreas distantes. Hanson (2004) defende, por meio de testes laboratoriais, que os destiladores solares podem eliminar, além de sólidos não voláteis, bactérias.

Satcunanathan *et al.* (1973) menciona que a destilação solar é um meio de fornecer água potável que continua a receber muita atenção, mesmo que outros métodos vem sendo desenvolvidos e afirma que a atratividade é devido à disponibilidade de um fornecimento de energia livre: o sol.

A destilação solar pode ser dividida de duas maneiras, como explica Arslan (2012) quando fala sobre a classificação destes como direto (passivo) e indireto (ativo). O autor cita que no sistema passivo a radiação solar é recebida de forma direta pela água da bandeja, sem alimentar outra energia externa e resulta em uma menor produtividade. E diz que por conta desta baixa produtividade, muitos sistemas ativos são desenvolvidos e trabalhados.

Jorge (2011) explica que destilação solar passiva acontece quando o sistema recebe energia apenas do sol e no caso da ativa, o equipamento recebe uma parcela extra de calor de outra fonte geralmente na bandeja de evaporação. Para Tiwari *et al.* (2007), a favor do meio ambiente está a destilação solar passiva que somente conta com uma energia limpa: o Sol. Porém a destilação solar ativa apresenta produtividade maior que a passiva, sendo esta considerada então mais eficiente para comercialização.

A destilação é um dos muitos processos disponíveis para a purificação de água, e luz solar é uma das várias formas de energia

térmica que pode ser usufruída para alimentar o processo. Paterniani (2005) cita que a energia solar, além de ser uma fonte natural disponível, é perfeitamente aplicável para desinfecção de águas em regiões menos favorecidas em infra-estrutura e recursos financeiros. Kabeel *et al.* (2011) conclui que a destilação é um dos muitos processos disponíveis para a purificação de água e se do tipo solar, tem ainda a vantagem de custo zero de combustível, entretanto requer mais espaço quando a demanda for grande, como no caso do abastecimento de uma comunidade.

2.1.1. *Parâmetros influentes na Destilação Solar*

Cabe aqui dialogar a cerca dos parâmetros analisados durante o período de operação da pesquisa aqui apresentada, que Garg *et al.* (1976) menciona sendo os parâmetros climáticos, tais como a radiação solar, a temperatura do ambiente, velocidade do vento, umidade atmosférica, condições de céu, todas funções observadas no experimento. Ainda o autor, em seus estudos realizados na Índia e em regiões de aridez, constatou por meio de medições que os ventos aumentam a produtividade do destilador solar em especial nos meses de verão e concluem que este, ao bater na cúpula, eleva a taxa de condensação.

Satcunanathan *et al.* (1973) não discorda totalmente do autor acima, porém em sua pesquisa relataram que a cúpula tem uma temperatura ótima de funcionamento e que os ventos podem resfriá-la demasiadamente em certos momentos, prejudicando a condensação.

Esteban (2005) explica que seu modelo DICS varia muito com as condições meteorológicas, porém esta afirmação é válida em diferentes níveis para todos os destiladores. Já Arslan (2012) destaca em seu trabalho que a eficiência do destilador solar aumenta com o aumento da temperatura e também na pesquisa de Al-Hinai *et al.* (2001) onde conclui-se que o aumento da temperatura ambiente e a velocidade do vento tendem a aumentar a eficiência do destilador em 8,2 % para uma mudança de 23°C a 33°C, e o acréscimo no vento de 1 a 3 m/s chega-se aos 8% de melhora no rendimento. Gnanadason *et al.* (2011) afirma que a taxa de evaporação no interior do destilador é diretamente proporcional a temperatura da água da bandeja.

2.1.2. Processos envolvidos na Destilação Solar

Silva (2011) esclarece que o processo realizado pelo potabilizador solar somente replica, em escala menor, o que acontece naturalmente no meio ambiente onde a água sofre evaporação e condensação em seu ciclo hidrológico. Porém para aprofundar-se mais sobre os processos que ocorrem na destilação, segundo Fuentes *et al.* (1997) e Souza (2010), devem ser estudadas as principais formas de transferência de calor: a radiação, a convecção e a condução; além das também importantes evaporação e condensação.

Formoso (2010) explica que a relação é como um ciclo, onde após a evaporação do líquido por transferência de calor da bandeja para a água, gera-se a condensação do vapor na cúpula do aparelho. A energia deste vapor condensado é utilizada para a evaporação no momento seguinte do ciclo. Outro autor também apresenta a relação existente:

A bandeja recebe radiação solar que passa através da tampa de vidro. A bandeja transfere o calor absorvido à água através de convecção. Ela eleva a temperatura da água e de outros materiais voláteis que ao estarem no mesmo intervalo de temperatura, evaporam e condensam na superfície interior da tampa de condensação inclinada. A água condensada forma uma película fina de água na superfície da tampa de vidro e escorre para baixo na calha. Calhas guiam o condensado de água para um tubo de plástico ligado a sua saída. Desta maneira, a água salina é purificada e recolhida como água destilada em um frasco. (TIWARI, 2010)

Segundo Hamed *et al.* (1993), a energia solar chega a superfície da terra de em dois tipos de radiação: a radiação direta, que é recebida diretamente do sol e a radiação difusa, que foi espalhada por nuvens e poeira e atinge o solo vindo de todas as direções. O autor explica que a proporção da radiação direta para a difusa varia de acordo com a nebulosidade, alcançando 100% em dias nublados. Neste ponto vê-se a importância do acompanhamento das condições do céu como a nebulosidade e o tempo presente. No mesmo grupo das citadas radiações difusa e direta, Duffie *et al.* (1991) ainda inclui a radiação global, sendo esta a acompanhada durante o acompanhamento dos pilotos deste projeto.

Já a convecção é uma transferência de calor numa massa fluida e, em destiladores solares, é dito como convecção natural ou livre, pois acontece devido à diferença entre a temperatura da bandeja e o fluido

em contato que se aquece, aumenta de volume e flutua, segundo Tiwari *et al.* (2008). Fuentes *et al.* (1997) afirma que a convecção é uma troca de calor não útil ao processo que ocorre dentro dos destiladores solares. Entretanto Taamneh *et al.* (2012) trabalhou com um destilador solar piramidal onde realizou a convecção forçada por meio de um pequeno ventilador instalado na cúpula e obteve melhoras na taxa de evaporação e de 25% na produção em comparação ao destilador de convecção natural.

A condução foi foco do trabalho de Naim *et al.* (2003) que inseriu raspas de alumínio na bandeja de evaporação para aumentar a condução do calor e assim obteve melhoras na produção do destilador solar. E ainda afirma que as aparas de alumínio retiveram calor durante o dia e o liberaram a noite, favorecendo ainda mais a produção. A condução é a troca de calor entre dois corpos que estejam em contato ou mesmo em partes do corpo que estejam com diferentes temperaturas, ocorre preferencialmente na matéria do que em seus vazios e os cristalinos são mais condutores que os amorfos, segundo Frota *et al.* (2003).

2.2. Definição de Potabilizadores Solares

Um fato salientado na introdução é a problemática da falta de água e a solução surge através da sua preservação e por meio de tecnologias sustentáveis. Tiwari (2010) afirma esta ocorrência dizendo que é necessário não só aproveitar e preservar a água doce, mas também desenvolver tecnologias ambientalistas para obter a água potável a partir de outra salobra ou contaminada. E acrescenta relatando:

Entre as tecnologias de tratamento de água, o Destilador Solar é aquela dita renovável, de tecnologia ambientalmente correta, de fácil operação e de baixo custo para produzir água destilada usando energia solar e pode ser uma solução para os problemas de escassez de água potável, a segurança energética e a mudança climática. (TIWARI, 2010)

Satcunanathan *et al.* (1973) dialogava que destiladores solares podem variar em design, inclinação da cúpula, seu volume interior influenciado pela distância entre a superfície de destilação e a superfície de condensação. Além disso, sua localização e modo de funcionamento, condições atmosféricas locais e insolação local também alteram substancialmente o funcionamento do potabilizador. Este relato do autor esclarece o porquê não se devem comparar resultados de localidades diferentes, somente apresentam-se os dados. Sabendo deste fato, Garg *et*

al. (1976) também trabalhou com dois pilotos idênticos para ser possível comparações de resultados, onde experimentaram uma bandeja com isolamento na base por serragem e a outra sem.

Mahdi *et al.* (2011) menciona que existem estudos sobre destiladores solares datados em 1551 e há diversos estudos sobre sua história, viabilidade, teoria, etc. e cita que este processo pode ser utilizado em água salgadas ou salobras, onde não exista água potável e haja abundância de radiação solar. Sateunathan *et al.* (1973) afirma novamente que este método de obtenção de água potável tem suas aplicações em áreas áridas e remotas onde não há outros meios econômicos de obtenção de fontes, concordando com a introdução do presente trabalho.

Malik *et al.* (1982) apresenta fatores que possibilitam uma boa aplicação do destilador solar por parte do usuário, sendo eles: restrições de quantias de água potável por dia, a simplicidade da tecnologia e seu custo material barato, e ainda por ser desnecessário um operador especializado.

Ghoneyem (1997) apresenta uma boa discussão acerca da utilização de vidro para a cúpula do destilador solar, comparando o vidro temperado ao comum e apontando este segundo como o mais viável no Brasil, por ser mais barato e por ter o funcionamento próximo do refratário. O único cuidado que o autor aponta é que se deve ter cuidado com as espessuras, pois apesar de melhorar o desempenho do aparelho, o vidro mais delgado é mais frágil por não ser temperado.

Tleimat *et al.* (1969) realizaram um estudo comparativo entre destiladores solares com cúpulas em vidro e em plástico, e a conclusão da pesquisa foi que o vidro é de superior eficiência para este serviço, sendo um dos motivos a deficiência do plástico em transmitir o espectro de infravermelho.

Quanto aos tamanhos dos aparelhos, Duffie (1991) afirma que áreas reduzidas podem produzir mais água por área, ainda que a capacidade térmica da bandeja seja também menor. Galvez (2006) também favorece destiladores de tamanhos reduzidos quando cita a vantagem de estes estarem ao alcance de qualquer indivíduo que necessite de uma pequena porção de água potável. Gomella (1973), na mesma linha, cita que indivíduos isolados ou pequenas comunidades podem usufruir de destiladores de pequeno porte e limita suas necessidades de água a 3 até 15 litros por dia por pessoa.

Em sua pesquisa, Costa (2008) apresenta as variações de tamanhos de destiladores solares, apontando que os mais usuais variam seu tamanho de 0,65 a 0,90 m de largura por um comprimento de 2 a 3 m.

Também apresenta os valores mais comuns de tamanhos, sendo eles entre 0,50 m a 2,50 m para a largura e até 100 m para o comprimento, chegando a áreas superiores a 60 m².

Outro ponto visado nas pesquisas dos destiladores é sua altura da lâmina de água. Soares (2004) afirma ser de 1,0 cm a lâmina de água mais eficiente para seu piloto. Porém, segundo Al-Hayek (2004), 1,5 a 2,5 cm é a profundidade que apresenta melhor eficiência. Contudo, a maior concordância entre os autores listados é que quanto menos água na bandeja, maior é a evaporação. Malik et al. (1982) diz que para se obter melhor eficiência no destilador solar, deve-se manter uma lâmina de água pequena na bandeja.

2.2.1. *Formas de otimização do processo*

Zuo *et al.* (2011) dialoga que o destilador solar é um equipamento barato, porém sua produção por unidade de área é ainda um pouco baixa. Por isso, o autor ainda cita que muitas pesquisas são realizadas com vistas de equipar a bandeja de evaporação com coletores solares térmicos a fim de aumentar a produtividade por unidade de área, mas que esta adição pode ter altos custos. Coletores solares térmicos são quaisquer tipos de matérias que acoplados no destilador, aumentam sua energia interna e propiciam maior produção.

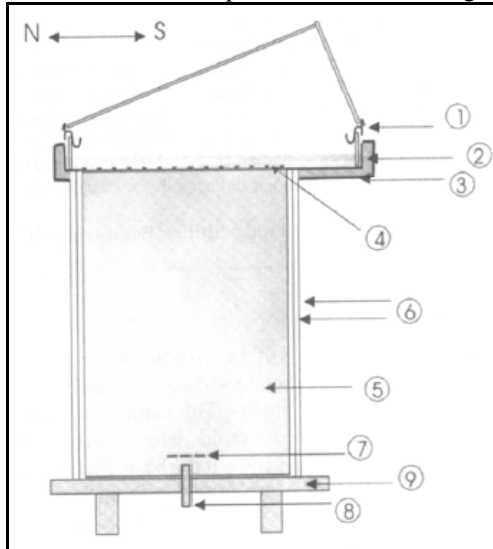
Todavia, Szulmayer (1973) cita que uma maneira prática e barata de aumentar a produtividade e a eficiência pode ser através de rearranjo do calor absorvido nos destiladores, bem como alterações na geometria do aparelho.

Daniel *et al.* (2011), em concordância com o autor citado, diz que vários parâmetros afetam a eficiência e a produtividade do destilador solar. A taxa de produção de água destilada pode ser aumentada através da variação do desenho do destilador solar, da profundidade de água na bandeja, da concentração de sal, da localização do equipamento e dos diferentes materiais absorventes que reforçam a evaporação.

A Figura 1 traz um modelo de potabilizador apresentado por Esteban (2005) onde se busca aumentar a temperatura da água variando o design do aparelho. A água bruta que alimenta a bandeja fica armazenada em um tanque localizado bem abaixo do aparelho que também radiação solar e por consequência aquece sua água. Neste momento, a parte mais quente de água fica na superfície do tanque que é ligada diretamente com a bandeja de evaporação. Então esta recebe água já aquecida, o que favorece muito a destilação solar. A esta tecnologia

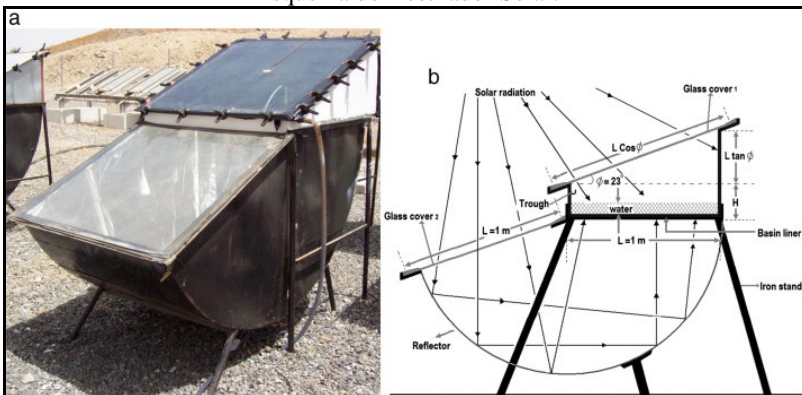
deram o nome de Distillers Integrated Solar Collector Accumulators - DICS.

Figura 1 – Esquema DICS. 1. Calha, 2. Bandejas de aço inoxidável, 3. Folhas de proteção, 4. Membrana de plástico preto com furos, 5. Tanque de aço inoxidável preto, 6. Policarbonato, 7. Placa dispersiva, 8. Entrada de água, 9. Fundação.



Fonte: Esteban (2005).

Figura 2 – (a) Fotografia do Destilador com um absorvedor invertido, (b) Esquema do Destilador Solar.



Fonte: Dev *et al.* (2011).

Com o mesmo propósito, a Figura 2 exhibe o interessante modelo de destilador solar apresentado por Dev *et al.* (2011), onde o aparelho propriamente é o convencional, porém possui uma carcaça com placas refletoras que aumentam a incidência de radiação solar na parte de baixo da bandeja, aumentando a temperatura da água a ser evaporada.

O que se pode observar sobre os variados modelos de destiladores solar é que suas diferenças se encontram nos métodos que cada um utiliza para aumentar a produtividade, pois o processo interno – destilação solar – é o mesmo em todos.

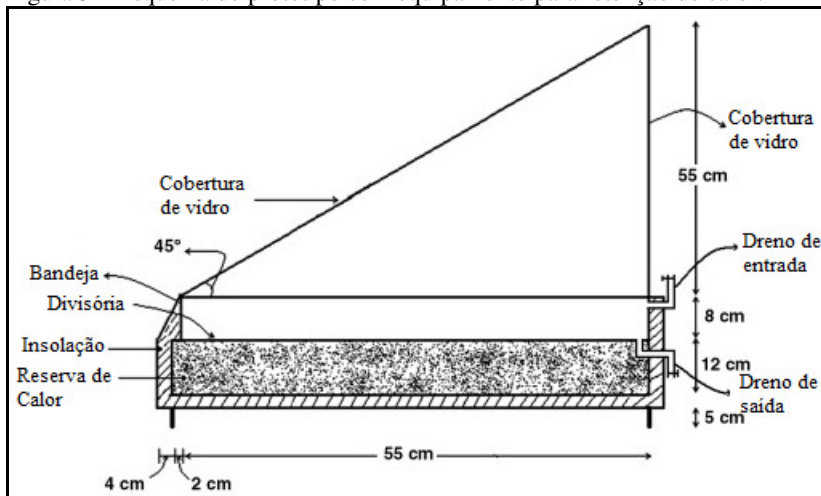
Esteban *et al.* (2005) ao alegar que desde que a produção de água ocorra em coincidência com as horas de sol, ou seja, que o aparelho utilize energia solar, é possível aumentar a produção com um apoio térmico.

No caso da reserva calorífica, Andrade (2004) conclui em seu trabalho que existe uma influência no aumento da evaporação de água pelos materiais porosos inseridos na bandeja, e esta depende da capacidade de absorção da radiação incidente do objeto, bem como do nível do transporte por difusão permeado entre as paredes desses meios. Em seu projeto, o autor utilizou como material um feixe de tubos de vidro para uma bandeja aberta com vistas de aumentar a produção.

Tabrizi (2010), em seu trabalho, fala sobre um reservatório de calor integrado a bandeja, conforme Figura 3, que faz com que o destilador solar tenha significativamente maior produtividade durante noites e dias nublados.

À noite, quando há quedas de radiação solar, os componentes do destilador começam a esfriar e a temperatura da água cai abaixo da temperatura do reservatório, então este começa a descarregar a energia armazenada. O calor descarregado mantém a temperatura da água da bandeja alta o suficiente para produzir água doce. Isto provoca um aumento da produtividade destilador, especialmente no período noturno. (TABRIZI, 2010)

Figura 3 – Esquema do protótipo com equipamento para retenção de calor.



Fonte: Tabrizi (2010).

Badran (2007) fez estudos de coletas diurnas e noturnas e diz que a produção a noite, na ausência de radiação solar contribuiu para 16% da produção diária devido às diferenças de temperatura entre a tampa e água, e a diminuição da capacidade de retenção de calor. No decorrer do trabalho, o autor enumera estas coletas durante o dia e noite como sendo:

- Diurno: 3545 mL (08h00min as 17h00min) - 84,25%;
- Noturno: 670 ml (17h00min as 08h00min) - 15,75%.

Estes dados comprovam que há produção noturna de água destilada, porém esta produção ocorre apenas pela reserva de calor provinda do período diurno e não por radiações recebidas neste período, pois como estudado nesta revisão, à noite a radiação é nula ou até mesmo negativa.

Com uma reserva de calor, esta produção pode ser aumentada e além deste fator de reserva, Badran (2007) explica que a produtividade noturna é devida a grande diferença de temperatura do ambiente interno do destilador em comparação ao externo, que juntamente com o aumento da velocidade do vento, favorece a produção à noite.

Galvani *et al.* (2001) fala sobre a radiação ao longo do dia, que nas horas de brilho solar, o saldo de radiação em uma superfície qualquer tende a ser positivo, pois os fluxos incidentes – global e atmosférico – são superiores às frações refletidas e emitidas. Por outro lado, durante a noite, é comum que esses valores sejam negativos, pois o fluxo

incidente passa a ser apenas atmosférico e a energia emitida pela superfície é superior a este, resultando em um saldo de radiação negativo. E pode-se saber que o resfriamento noturno será tanto maior quanto mais límpida estiver a atmosfera.

Segundo Szulmayer (1973), todos os destiladores absorvem a radiação e, quando possuem o revestimento da bandeja em preto, geram calor, de modo que toda a água tem de ser aquecida antes de o destilador começar a operar. Este fato se remete a dois pontos: partes escuras na bandeja de evaporação geram maior absorção de calor e todo o volume de água deve estar aquecido.

2.2.2. *Exemplos de aplicações de materiais rochosos*

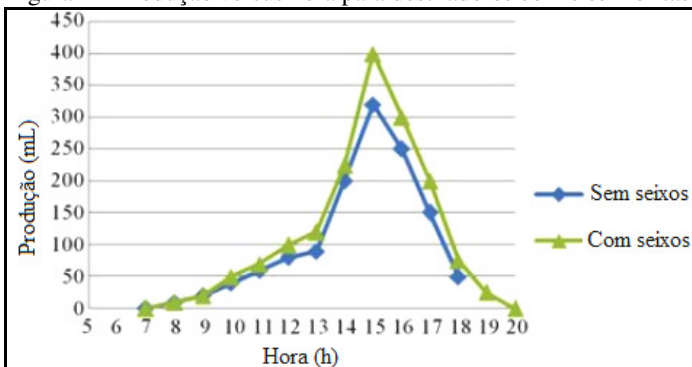
Andrade (2004) apud Chendo *et al.* (1990) diz que o autor realizou algumas experiências, utilizando carvão vegetal, seixos e pavios, comprovando também a melhoria da produção devido a adição destes materiais na água. O destilador que continha as pedras apresentou a maior produtividade entre eles e o autor ainda destaca que, até 4 horas após o pôr do sol, o destilador ainda produzia água.

Velmurugan *et al.* (2009) cita que quando utilizou seixos de 4 mm nos destiladores, verificou-se aumento de produtividade diurna e noturna em 67%. E conclui que os seixos armazenam mais energia térmica e lançam esta após o pôr do sol obtendo assim uma maior produtividade à noite, em comparação com um destilador solar sem cascalhos.

Mandlin *et al.* (2009), que estudou diversas matérias na bandeja de evaporação, e na utilização de seixos obteve aumento na duração da taxa de evaporação e, por resultado, aumento também da produtividade do destilador solar em 63%.

Esta mesma experiência foi realizada no trabalho de Gnanadason *et al.* (2011) onde pequenas seixos de 10 mm foram inseridos na bandeja com vistas de aumentar a produção. Em sua pesquisa, o autor realizou tentativas para aumentar a produtividade da água como pintar o interior da bandeja na cor e inserir materiais solares com alta capacidade de armazenamento de energia térmica. A Figura 4 apresentada o gráfico obtido do trabalho dos autores onde relacionam a produção de dois destiladores, onde se nota a maior produção provinda do aparelho com seixos.

Figura 4 – Produção versus hora para destiladores com e sem britas.



Fonte: Gnanadason *et al.* (2011).

Sampathkumar *et al.* (2012) também realizou pesquisas sobre a influência de britas basálticas nas bandejas dos destiladores solares. Para o autor, as pequenas pedras pretas reduzem a quantidade de água na bacia e assim aumentam a taxa de produção, pois quanto menor a quantidade de água na bandeja, maior é a evaporação. E confirmam que além de aumentar a área de exposição da água, o seixo atua como meio de armazenamento de energia durante as horas de sol para posterior liberação no período sem sol.

Velmurugan *et al.* (2009) ainda cita que materiais de armazenamento de calor sensível, como seixos, aletas ou defletor fornecem a energia térmica necessária mesmo depois do pôr do sol. Isto porque a energia armazenada no material é libertada lentamente ao longo do tempo.

Como uma definição de seixos, Daniel *et al.* (2011) declara que o seixo é um dos maiores materiais solares de armazenamento de energia térmica, pois tem alto calor sensível. A adição de rochas na superfície da bandeja aumenta a temperatura da água, aumentando assim a taxa de evaporação. A relação que pode ser estabelecida é que a área de produtividade do destilador solar aumenta com o aumento da área de absorção.

Segundo Oliveira *et al.* (1998), as rochas quando atingidas pelos raios solares podem ser aquecidas cerca de 1,5 a 2,5 vezes mais que do que a atmosfera, podendo então alcançar temperaturas acima de 60°C e no período noturno, ou seja, na ausência do sol, estas rochas encontram-se na ordem de 20°C. Desta forma, durante o dia o material se esquentava e também pode vir a esquentar mais a água.

2.2.3. Conceitos termodinâmicos

Para apoiar a escolha da decisão do melhor material a ser implantado na bandeja de evaporação e para amparar as discussões acerca dos resultados, é válido realizar uma breve revisão sobre dois conceitos da termodinâmica.

Capacidade térmica

Halliday *et al.* (1991) afirma que a capacidade térmica de um corpo está relacionada com a quantidade de energia que ele é capaz de absorver ou ceder quando varia a sua temperatura. Ou seja, quanto maior for a capacidade térmica de um material, mais energia é necessária para que se altere sua temperatura.

Marques *et al.* (2009) cita que a capacidade térmica é a aptidão de doar e receber calor de um material, ou seja, é a capacidade que este possui em esquentar e resfriar ao longo do tempo. E ainda dialoga que materiais com alta capacidade térmica esquentam-se mais rapidamente, porém se resfriam em mesma proporção. Incropera *et al.* (2002) concorda com o autor citado quando diz que corpos com baixa capacidade térmica se aquecem num ritmo mais lento e quando alcançam altas temperaturas, demoram a se resfriar.

Calor específico

Marques *et al.* (2009) menciona também que para calcular o quanto de energia que um corpo pode receber ou doar, sua capacidade térmica, precisa-se conhecer o calor específico de sua substância. Halliday *et al.* (1991) relata que o calor específico é a relação da quantidade de energia trocada por uma unidade de massa de um corpo quando varia sua temperatura, isto é, a quantidade de energia por unidade de massa necessária para elevar ou baixar de 1 °C a temperatura de uma substância. Mandlin *et al.* (2009) cita que os seixos têm elevado calor específico e por isso são bons armazenadores de calor.

2.3. Pesquisas desenvolvidas no LAPOÁ

O Laboratório de Potabilização da Água, criado em 1983, deu início as pesquisas sobre destiladores solares no ano de 2000, sendo trabalhado por Senen (2000), Soares (2001), Soares (2004), Murakami (2005), Reif (2006), Ferrari (2008), Lenzi (2009) e em um doutorado, em andamento,

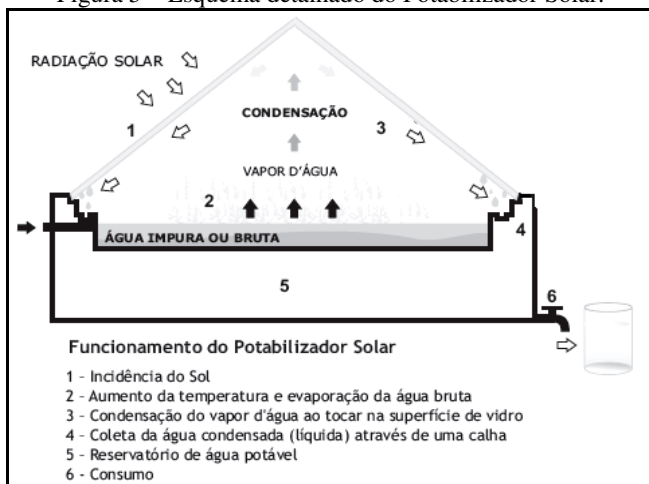
por Silva (2011), o que apresenta a domínio sobre a tecnologia por parte do laboratório e a busca pelo aperfeiçoamento do equipamento.

Senem (2000) iniciou os trabalhos com o potabilizador no LAPOÁ, onde construiu um destilador solar de 1 m² com a cúpula feita em vidro e de inclinação de 45°, sendo sua base a bandeja e esta pintada na cor preta a fim e obter maior eficiência na produção de água. A média de produção obtida por este piloto foi de 3,5 L/m².d. O autor concluiu que o ganho na produção possibilita a redução do tamanho da área de insolação, ou seja, a área da bandeja quando diz que a grande desvantagem do destilador é o tamanho necessário para produções maiores.

Soares (2004) por meio de seu estudo e o de Senem (2000), concluiu que a eficiência na produção pode ser obtida se atentando em três pontos: colorindo a bandeja de evaporação na coloração preta, reduzindo a lâmina de água e minimizando a perda de calor do equipamento.

Segundo Soares (2004), o destilador solar é o equipamento mais simples em processos – Destilação – e manutenção e de eficiência inquestionável. Esse contém uma tampa de vidro, uma bandeja isolada com água salgada e um canal de recolha de destilado chamado calha. Em seu trabalho, optou pro trabalhar com uma lâmina de água na bandeja menor que 10 mm, realizou testes com ângulos de 25° e 45° para a inclinação da cúpula e teve médias de produção de água destilada em 3,1 e 3,7 L/m².d.

Figura 5 – Esquema detalhado do Potabilizador Solar.

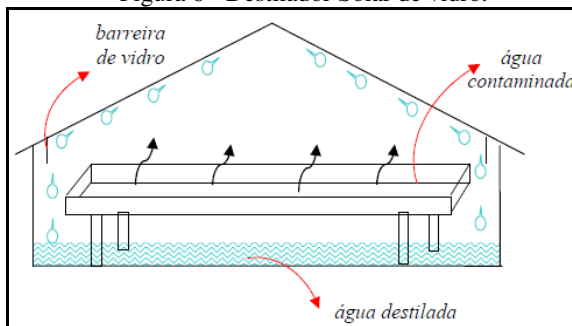


Fonte: TSGA/UFSC (2012).

Na Figura 5 se encontra o modelo desenvolvido no Laboratório de Potabilização da Água LAPOÁ-UFSC por Ferrari (2008). Este Potabilizador Solar, constituído por uma cúpula de vidro em forma de pirâmide, tem sua base com 1,43 x 1,43 metros e tem seu ângulo de inclinação da cúpula testado a favor da produção. A cúpula se apóia sobre o reservatório, uma caixa quadrada de mesma metragem, feito de vibra de vidro. E entre estas duas partes encontra-se fixada uma estrutura em forma de bandeja, com a metragem de 1,42 x 1,42 metros, a qual recebe a água bruta.

Lenzi (2009), em sequência dos experimentos no LAPOÁ, utilizou a tecnologia para testar o grau de remoção de agrotóxico em águas de rio e testou a remoção de substâncias inorgânicas em águas salgadas. Sua experiência foi dividida em períodos de operação e concluída na análise destes intervalos. O autor ainda cita que os destiladores devem ser razoavelmente herméticos, para evitar perda de vapor e entrada de água, e conclui que se deve manter a temperatura da água da bandeja elevada, pois assim se favorece a transferência de calor por evaporação/condensação. Sua produção média foi somente 0,3 L/m².d.

Figura 6 - Destilador Solar de vidro.



Fonte: Lenzi (2009)

Reif (2006) utilizou uma bandeja de metal e inclinação da cúpula de 25° e já teve cuidados com a reevaporação do destilado. Sua produção média de água destilada foi de 1,3 e 1,9 L/m².d, já Murakami (2005) obteve como produção máxima 1,38 L/m².d com seu piloto de 40x40 cm. O modelo de Ferrari (2008) teve médias de produção em 1,5 e 2,4 L/m².d.

3. Materiais e Métodos

Este estudo introduz duas novas formas para funcionamento do Potabilizador Solar - LAPOÁ, sendo a primeira por diferenciar o design do aparelho de potabilização; e a segunda sugerindo que a área de pesquisa seja a bandeja de evaporação e propondo um método para que a água contida nela seja destilada de forma otimizada, a fim de aumentar a produção de água.

Para desenvolvimento dos objetivos desta pesquisa, a metodologia se apresenta de forma a explicar os materiais e métodos que melhor detalham os processos realizados na pesquisa. Esta organização se estende a todos os tópicos deste item, sendo eles: Idealização da Pesquisa; 1. Construção dos pilotos; 2. Caracterização diária do clima e tempo; 3. Operação concomitante dos dois potabilizadores; 4. Coletas diárias (diurna e noturna) de parâmetros dos pilotos; e 5. Análise e tratamento dos dados obtidos.

Todo desenvolvimento do projeto ocorreu de Junho 2012 à Janeiro de 2013. O período de operação efetiva onde ocorreu a coleta de dados foi de Setembro a Dezembro de 2012, período contido entre o final do inverno, a primavera e o início do verão. Esta variedade de estações possibilitou avaliar-se a influência da sazonalidade na temperatura da água da bandeja de evaporação.

É apropriado ressaltar que todos os valores coletados foram registrados num caderno de acompanhamento e depois repassados para uma base de dados eletrônica dos pilotos, chamada Tabela de Acompanhamento. Desta forma, se garante melhor a segurança das informações.

Idealização da Pesquisa

Por um (1) ano – Abril de 2011 a 2012 – foram coletados dados de produção, clima e tempo de um potabilizador localizado no terraço do prédio do Departamento de Engenharia Sanitária – UFSC (27°36'1.95"S e 48°31'5.57"O) para a pesquisa de doutorado de Silva (2011) no LAPOÁ pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. A Figura 7 mostra três aparelhos em funcionamento, sendo o Potabilizador Solar (b) o observado no período supracitado e provindo do trabalho de Ferrari (2008).

Figura 7 – ENS/UFSC: (a) Potabilizador Sextavado, (b) Potabilizador Solar (c) Piloto de Potabilizador Solar.



No acompanhamento do Potabilizador Solar, notou-se defeitos ocorrentes por diversos fatores e modos de aprimorar a produção de água. Para isso foram analisados:

- Quantidade de produção de água potável ($L/m^2.d$);
- Perda de vapor interno: detalhes na construção e vazamentos;
- Entrada de água da chuva no processo: mesmos vazamentos por onde há escape de vapor;
- Odores e Sabor: o tipo do material para construção;
- Sugestões de mudança na estrutura dos potabilizadores: casos de reevaporação do destilado;
- Dados meteorológicos e radiação global: relações com a produção por meio de gráficos.

Tal acompanhamento possibilitou certa experiência com a tecnologia. Este fato somado aos parâmetros obtidos e os gráficos relacionados, possibilitou a formulação da problemática desta pesquisa: o resfriamento da água da bandeja de evaporação no período noturno.

No mês de Março de 2012, onde houve noites muito quentes em Florianópolis, o Potabilizador Solar em observação obteve as maiores produções de água, sendo recordes em comparação a todo período estudado. A ideia então é que, em noites quentes, a produção do

potabilizador é maior devido ao menor resfriamento da água da bandeja de evaporação. E o ponto decisivo para a validação desta ideia foi a não ocorrência de eventos pluviométricos, pois estes acontecimentos geravam grandes volumes de produção devido à infiltração desta água de chuva.

Além das noites quentes, outros pontos também foram observados e estudados pelo fato de beneficiarem a produção de água, como: grande amplitude térmica no dia, ventos fortes que resfriam a cúpula favorecendo a condensação, céu aberto ou com poucas nuvens, e dias consecutivos com temperaturas ambientes mais quentes como as medidas na estação do verão.

3.1. Construção dos Pilotos

A fase de montagem e construção dos pilotos foi realizada no mês de Junho nas dependências do Laboratório de Potabilização da Água (LAPOÁ/UFSC), Florianópolis – Santa Catarina para validação da tecnologia. Porém a etapa de operação foi realizada na cidade de Foz do Iguaçu – Paraná, onde as estações do ano são mais acentuadas, ou seja, o verão é mais quente e o inverno mais frio em comparação à ilha de Santa Catarina.

Para o dimensionamento e montagem dos pilotos, pesquisou-se uma série de pontos que majorem a eficiência da produção. A leitura de trabalhos já realizados no LAPOÁ e outros em diversos ajudaram nas escolhas dos critérios listados a seguir:

- Pesquisa de materiais e suas propriedades;
- Decisão dos materiais a serem utilizados;
- Escolha do melhor design (formato, inclinações, etc.);
- Dimensionamento do aparelho;
- Execução.

Os pilotos foram montados utilizando silicone na junção das placas de vidro como ser conferido na Figura 8. Após secagem, encaixaram-se as cantoneiras de alumínio preenchidas completamente com silicone nas arestas das cúpulas. A Figura 9 mostra a vista interna de um dos pilotos com o detalhe das arestas bem vedadas pelo silicone.

Figura 8 – Montagem da cúpula superior.



Figura 9 – Vista interna do piloto no detalhe as arestas com silicone.

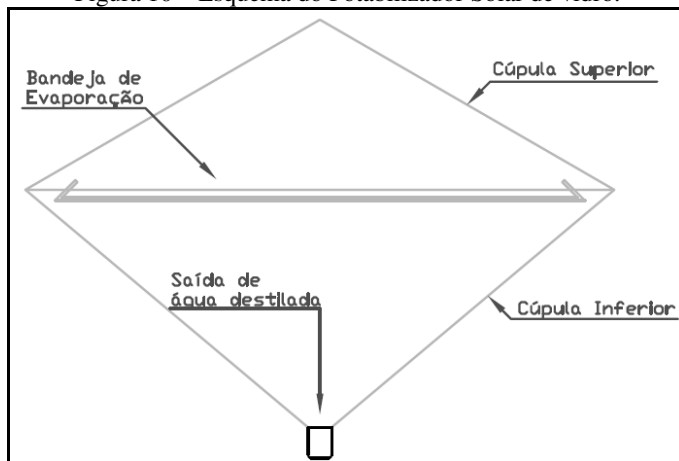


Na pesquisa por materiais, procurou-se trabalhar com aqueles que não liberassem odor e nem conferissem gosto à água como principal ponto de classificação. No Potabilizador Solar acompanhado anteriormente houve transferência de odor e gosto pela resina existente na tinta utilizada para pintar o reservatório de água destilada devido à alta temperatura que o sistema é submetido. Esta regra é devido ao fato de que a água a ser tratada no aparelho é para consumo humano, não devendo possuir tais características.

Também é necessário que este material permita a passagem das radiações vindas do sol que possibilitam a destilação, de preferência transparente e de superfície lisa e impermeável. O escolhido então foi o vidro: material cerâmico transparente, de elevada dureza,

essencialmente inerte e biologicamente inativo. Toda a estrutura, desde as faces inclinadas da cúpula até a bandeja, foi realizada com placas de vidro de 4 mm. Porém nas arestas foram utilizadas cantoneiras em L de alumínio para conferir maior firmeza à estrutura.

Figura 10 – Esquema do Potabilizador Solar de vidro.



Quanto ao melhor design, no citado período de um ano de observação do Potabilizador Solar, foram identificadas falhas devidas ao estilo da estrutura. Os aparelhos potabilizadores até então tinham um reservatório de água tratada logo abaixo da bandeja de evaporação, ou seja, tinha uma superfície livre em contato direto com a atmosfera interna do potabilizador. Ocorreu então que a água já tratada, que também recebia calor do sol, reevaporava e assim havia uma diminuição na eficiência de produção.

Para cessar esta reevaporação, foi resolvido desacoplar este reservatório, o colocando fora da estrutura do potabilizador. A água destilada então é encaminhada até a cúpula inferior do piloto e escorre por uma mangueira até o reservatório externo, com o detalhe de um sifão apresentado pela Figura 11. Esta estrutura impede que a água reevapore do reservatório e retorne ao interior do equipamento, aumentando assim a eficiência da produção.

Figura 11 – Detalhe do sifão instalado na saída de água destilada do piloto.



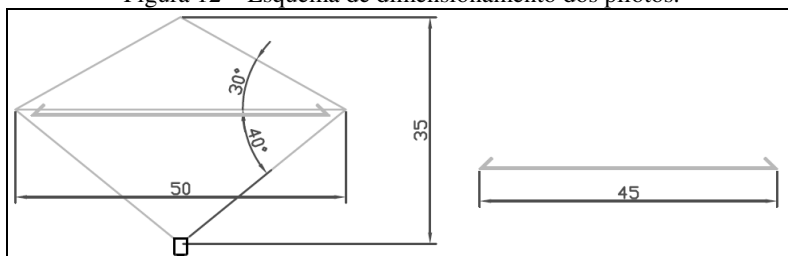
No dimensionamento, o principal parâmetro é a inclinação da cúpula, pois deve ser suficiente para que a gota escorra e não se acumule e pingue retornando a bandeja. Porém não se pode inclinar em demasia a cúpula superior, pois isto aumentaria demais a altura total do piloto ou diminuiria demais a área de base para a bandeja.

Já na execução, o principal ponto desejado é a total vedação entre a atmosfera interna e externa ao potabilizador. Para isso foi utilizado o silicone atóxico, que além de ótima aderência ao vidro, veda com excelência as arestas e mantém a estrutura firme ao seu limite. Na Tabela 1 se encontram as metragens dos pilotos desta pesquisa e na Figura 12, seu esquema.

Tabela 1 – Dimensionamento do Piloto de vidro

Parâmetro	Piloto Potabilizador Solar
Base cúpula	50x50 cm
Base bandeja de evaporação	45x45 cm
Altura total	35 cm
Inclinação superior	30°
Inclinação inferior	40°

Figura 12 – Esquema de dimensionamento dos pilotos.



Para garantir o perfeito funcionamento dos pilotos, após a montagem dos dois modelos, estes foram instalados no mesmo terraço do prédio do departamento ENS e estiveram em operação por duas semanas. O teste de vedação ocorreu da seguinte maneira: alimentaram-se cada bandeja de evaporação com água e esperou a evaporação do líquido. Então, pelo balanço volumétrico, o somatório da produção deve ser igual a todo o volume de alimentação e caso ainda reste líquido na bandeja, este deve ser coletado e somado à produção.

Esta questão é importante para que se possa afirmar que não houve interferências no processo de destilação, como a infiltração de água de chuva (contaminante) e o escape de vapor d'água. Estes são os dois grandes prejuízos para a produção de destilado que se resumem a condição da vedação, que exigem uma atenção maior no momento da montagem. Os testes de funcionamento sempre são realizados após transporte ou antecedentes ao início da operação dos pilotos, como foi o segundo teste de funcionamento na cidade paranaense.

Outro detalhe deste exame é de sempre ser realizado com a bandeja de evaporação sem nenhum adicional, somente a água, para também comprovar que as duas estão operando de forma idêntica. Se as duas possuem o mesmo volume de alimentação, as dimensões análogas e estão sob iguais condições de clima e tempo, as duas produções devem ser próximas em um momento qualquer de coleta.

E quanto à estrutura, teve-se o cuidado de mantê-la limpa interna e externamente e garantir que nenhuma peça tenha se descolado por menor que seja a abertura. Caso ocorresse, se retiraria todo o silicone em todas as partes e se realizaria uma nova colagem. O teste de vedação deve ocorrer minuciosamente quando nesta situação.

3.2. Caracterização Diária do Clima e Tempo

Para possibilitar a análise da eficiência de produção dos aparelhos potabilizadores, dados de clima e tempo são recolhidos diariamente e junto aos dados provindos dos pilotos cria-se uma Tabela de Acompanhamento no *software* Excel. Os dados diários coletados desta etapa foram:

- Identificação da coleta: data e horário;
- Ventos: direção (N, S, L e O), intensidade (fraco, moderado e forte) e velocidade (km/h);
- Horários de nascer e pôr do sol: determinação dos momentos diurno e noturno;
- Temperatura: água da bandeja (nas coletas diárias, máxima e mínima) e do clima (máxima, mínima, cálculo da média e amplitude térmica) (°C);
- Nebulosidade: PC, EP, NU e ET;
- Precipitação (mm);
- Tempo presente: DZ, (+/-) RA, TS, GZ, SH e FG;
- Pressão atmosférica (hPa);
- Radiação solar global (W/m²) e Radiação média diária (kWh/m²);
- Umidade Relativa (%).

Para os dados de nebulosidade, não foi encontrado um método adequado, por isso foi realizado da forma expressa na listagem abaixo. O método foi adquirido de Silva (2011) e refere-se a uma área de amostragem do céu que deve ser dividida em oito partes iguais. Então, a partir desta divisão, somam-se os quadrados que possuem nuvens e tem-se a classificação como:

- PC: poucas nuvens, cerca de 1 a 2 partes das 8 têm nuvens;
- EP: nuvens esparsas (2-3/8);
- NU: nublado (4-7/8);
- ET: encoberto (8/8).

Para os dados de tempo presente, foi utilizado o método METAR (Meteorological Aerodrome Report - Relatório Meteorológico de Aeródromo) onde são codificadas as observações meteorológicas, sendo muito utilizado para fornecer informações de um aeródromo sobre as condições do tempo. As siglas apresentadas significam:

- DZ – chuvisco;
- (+/-) RA – chuva, (+) quando for forte e (-) quando for fraca;
- TS – trovoadas;
- GZ – granizo;

- SH – pancada de chuva;
- FG – nevoeiro (visibilidade abaixo dos 1000 metros).

Os dados de radiação solar global foram obtidos junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, onde há o fornecimento das médias diárias. As outras informações sobre clima e tempo foram adquiridas pelo Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR), já que a operação ocorreu em Foz do Iguaçu. Pela existência da hidroelétrica ITAIPU BINACIONAL, o município possui uma estação meteorológica própria controlada pela SIMEPAR e tem seus dados fornecidos.

Apesar de os dados não serem precisamente no local de operação, as aproximações climáticas são válidas ao lembrar-se de que os dois pilotos estiveram sempre sob mesmas condições climáticas e de funcionamento.

3.3. Operação

A comparação de dados obtidos a partir dos pilotos só é possível pela identidade na construção, as condições climáticas iguais e a operação concomitante. Este fato valida os dados obtidos, posto que qualquer diferença na produção de água entre os dois é devido à única diferença entre eles: o material rochoso inserido na bandeja.

A partir da revisão bibliográfica, afirma-se que pontos pretos dentro da bandeja de evaporação fornece acréscimo à produção, também por isso a escolha das britas basálticas de tonalidade escura. Os materiais rochosos, como a pedra britada, possuem alta capacidade térmica, e quando se resfriam, liberam sua energia térmica para o meio ao entorno que neste caso foi a água. Além disso, as britas apresentam grande calor específico, o que confirma sua capacidade de retenção do calor.

Pode-se então estabelecer a relação da brita preta com os processos de transmissão de calor que acontecem dentro dos pilotos. A radiação solar ao atingir a bandeja, aquece mais o material rochoso do que a água. Então as britas aquecidas, por condução, repassam parte deste calor para a água que tem sua temperatura aumentada favorecendo assim a evaporação. Para convecção não foram encontradas relações, a menos que o fundo da bandeja estivesse repleto de cascalhos, como não foi o caso.

A introdução das britas foi feita na bandeja de evaporação de um dos pilotos apenas, denominado Piloto 1 e, por consequência, o piloto que trabalhou apenas com água foi denominado Piloto 2. A disposição das britas no interior do P1 foi realizada de forma aleatória, pois o piloto

já se encontrava selado e, entre elas, havia predominância de tamanho de 10 mm. Segundo a Norma Técnica NBR 9935 este tipo de material é denominado de brita ou pedra britada, agregado graúdo proveniente da fragmentação mecânica de rochas e baseando-se na NBR 7211, sua numeração é Brita 1 por ter o intervalo de tamanho entre 4,8 e 12,5 mm.

O volume de material adicionado foi medido em um béquer por acréscimo de volume no líquido existente no recipiente, e obteve-se 138 mL de britas inseridas na bandeja P1. Teve-se também um cuidado para garantir que todas as britas estivessem em maior parte submersas, para que, quando houver mais fontes de calor, elas liberem calor para a água. A Figura 13 apresenta a bandeja com as britas inseridas.

Figura 13 – Detalhe da disposição das britas na bandeja P1.



Quanto à alimentação, a altura da lâmina de água na bandeja ficou entre 1,0 a 1,5 cm de altura. As bandejas foram alimentadas inicialmente com 3000 mL, entretanto, P1 teve um desconto de 138 mL por conta das britas adicionadas. Pela distância existente entre os valores, 138 para 3000 mL, as alturas de água das bandejas estiveram sempre em níveis muito próximos.

A proposta então para manter o mesmo volume em ambas as bandejas foi de alimentá-las com o somatório das suas produções. Aceitando que o piloto estava completamente vedada ao ambiente externo, todo volume de água produzido foi devolvido ao sistema pela alimentação da bandeja. Porém ao assumir-se que existam falhas imperceptíveis na vedação, em momentos escolhidos quando necessário, um mesmo volume de água pode ser adicionado em cada um dos pilotos. Durante a operação, não foi observada diminuição na altura da água de ambas as bandejas, porém foi decidido, no início do mês de Novembro, adicionar 350 mL em cada bandeja para suprir perdas de água decorrentes das medições e possíveis vazamentos.

A alimentação da bandeja foi feita por um orifício que se encontra em uma das faces da cúpula superior do potabilizador. Esta abertura é vedada por uma rolha que contém uma mangueira em seu interior, por onde a água entra no sistema, e que após abastecimento é lacrada para manter o sistema sempre vedado. A água utilizada para o abastecimento dos pilotos foi obtida da rede de abastecimento pública, pois o foco do presente trabalho não é a qualidade da água resultante e sim sua quantidade de produção.

De acordo com o cronograma estipulado, os pilotos P1 e P2 foram testados no mês de Agosto e operaram durante os meses de Setembro à Dezembro de 2012 com coletas diárias na cidade de Foz do Iguaçu - Paraná. Sua localização geográfica é $25^{\circ}32'12.11''\text{S}$ e $54^{\circ}33'35.18''\text{O}$, dados importantes para definições de radiação. A Figura 14 apresenta os dois pilotos em operação, sendo um deles equipado com britas.

Figura 14 – Operação dos pilotos de vidro em Foz do Iguaçu – PR.



3.4. Coletas Diárias de Produção

As coletas foram diárias, podendo ser divididas em diurnas e noturnas, e medidas por uma proveta de 100 mL para melhor precisão das leituras. As coletas diurnas ocorrem no nascer do sol e dizem sobre a produtividade noturna. Já as coletas noturnas, por consequência, ocorrem uma hora após o pôr do sol e apresentam a produção de água no período com sol.

Para a época de inverno, no município paranaense, a média horária de pôr e nascer do sol são, respectivamente, 07h00min e 18h00min. Esta média foi acompanhada semanalmente por conta da mudança do horário

de inverno para o de verão. Porém as coletas continuam como sempre: no nascer e uma hora após o pôr do sol.

As coletas noturnas de produção de água foram iniciadas apenas a partir do início do mês de Outubro e continuadas até o fim do período de operação. Casos de baixíssimas produções foram verificados, por conta das baixas temperaturas medidas no inverno ou nebulosidade alta, e tais dados foram considerados nos resultados para poder também avaliar a atuação das britas nestas condições.

Outro parâmetro importante foi a temperatura da água da bandeja de evaporação, sendo esta a verdadeira afirmação da viabilidade de aplicação do material, pois a mudança da temperatura da água influencia diretamente na produção. Outro fato que se pode avaliar por um estudo comparativo entre as duas é o aumento da temperatura da água durante o período de sol. Ou seja, se pôde avaliar a capacidade das britas de manter a água aquecida no tempo noturno e a capacidade de aquecer mais a água da bandeja no período diurno.

Para isso, foram implantados dois termômetros digitais, um em cada bandeja de evaporação, que permitem a leitura das temperaturas das águas das mesmas. As medições são tomadas da seguinte maneira:

- No momento das coletas – diurna e noturna;
- Na manhã seguinte, são anotadas as temperaturas máximas e mínimas correspondentes ao dia anterior.

A Figura 15 traz a operação do termômetro no piloto P2, sendo feito da mesma forma no P1. Destaca-se que os termômetros da marca More Fitness foram testados em dois momentos diferentes, com uma porção de água fria e outra em temperatura normal. Os dois apresentaram a mesma medida para ambas as águas testadas, possibilitando sua utilização na pesquisa.

Figura 15 – Piloto 2 com seu termômetro.



A seguir apresenta-se a lista dos parâmetros coletados nesta etapa para posterior preenchimento da tabela de acompanhamento dos pilotos.

- Produção de água diurna e noturna: em horários predeterminados diariamente, em litros (L) e calculada a taxa ($L/m^2.d$);
- Temperatura da água da bandeja de evaporação: leitura duas vezes ao dia diariamente.
- Temperatura da água da bandeja de evaporação: uma vez ao mês, leitura horária desde a coleta matinal a noturna (14 horas).

Este último item traduz o comportamento da temperatura em relação à água e à água com britas, possibilitando então identificarem-se as diferenças entre os perfis térmicos de cada bandeja e o efeito causado pelas britas. Este parâmetro é acompanhado por 14 horas desde a coleta matinal até a noturna.

3.5. Análise e Tratamento dos Dados Coletados

Esta é a última etapa onde deve incidir o entendimento dos processos que ocorrem dentro do piloto pela inserção das britas basálticas na bandeja P1. Todos os dados coletados, ao final da pesquisa, foram revisados e então trabalhados na planilha eletrônica do *software* Excel.

Buscou-se a produção de gráficos e outras ferramentas estatísticas que transformem o banco de dados em algo mais visível e compreensível. Desta forma, podem-se comparar as produções entre as duas bandejas, compreender suas relações com outros fatores do processo e ainda avaliar quais destes são mais ou menos influentes para a destilação nos pilotos.

Após este tratamento nos dados adquiridos nos itens descritos anteriormente, eles se encontram prontos para o cruzamento com a revisão da literatura estudada para então se desenvolver as discussões acerca dos resultados. Esta é a chamada análise dos dados, realizada com a interpretação de pós-observação do pesquisador. Para esta reflexão, se fez uso de um olhar multifacetado sobre a totalidade dos resultados, considerando ainda as observações e acontecimentos da operação.

Para se obter essa visão, é necessário saber o que se espera de tal parâmetro para então poder compreender melhor seus resultados. Conhecer bem o parâmetro, coletar seus dados corretamente e pretender certa reação dos pilotos já são pontos positivos à pesquisa. Estes pontos podem ser determinados por suposição ou por base teórica. Neste

trabalho utilizaram-se as duas determinações. Abaixo estão listados todos os parâmetros coletados e a sua devida importância para a pesquisa.

- Identificação da coleta: organização dos dados;
- Ventos: a direção não tem grande importância, apenas para registro. A intensidade e a velocidade sim, pois é o vento quem resfria a cúpula favorecendo a condensação do vapor d'água;
- Horários de nascer e pôr do sol: estipular os horários de coleta dos dados de produção de água;
- Temperatura: aquecimento ou resfriamento dos pilotos;
- Nebulosidade: influência na quantidade de radiação;
- Precipitação: na fase de teste, comprovar a vedação. Na fase de operação, coleta para observações;
- Tempo presente: descreve as condições da precipitação. Apenas para observações futuras;
- Pressão atmosférica: considerações futuras;
- Radiação solar global: é a fonte de energia para realização da destilação;
- Umidade Relativa: considerações futuras;
- Produção de água diurna: medida da eficiência do piloto;
- Produção de água noturna: medida da eficiência do piloto na produção noturna;
- Temperatura da água da bandeja de evaporação: acompanhamento das mudanças causadas pela introdução do material.

Novamente explicita-se que os dados de clima e tempo são observados apenas para entender o comportamento dos pilotos e ajudar nas conclusões. A verdadeira pesquisa realizada aqui busca a comparação entre os dois pilotos que trabalham lado a lado nas mesmas condições citadas.

4. Resultados e Discussões

Este item foi dividido em partes que buscam melhor deduzir e observar os dados coletados segundo a metodologia. Os três itens são: Construção dos Pilotos; Estudos das Coletas Diárias e Estudos nas Bandejas de Evaporação.

4.1. Construção dos Pilotos

Foram construídos dois pilotos baseados no precursor Potabilizador Solar do LAPOÁ-UFSC, porém estes foram confeccionados todo em vidro com cantoneiras de alumínio. Essa constituição foi possível pela dimensão do aparelho, 50x50 cm, que pesa entorno de 9 kg cada. Talvez, em dimensões maiores, sejam necessários outros tipos de materiais que arquem com o peso das placas de vidro.

Após montagem das cúpulas dos pilotos e das duas bandejas, os pilotos foram testados quanto as suas vedações do dia 26 de Junho a 8 de Julho de 2012. Para isso, ambas foram encaminhadas ao terraço do edifício da Universidade. Após sua fixação, foram alimentadas com 3 litros de água cada e suas produções coletadas e somadas. Isso permitiu o balanço de entrada e saída de água dos equipamentos.

Ao final do período de teste, parte do volume alimentado ainda não havia evaporado. Então este volume foi coletado e somado ao valor de produção dos pilotos. A Tabela 2 traz os valores coletados e a Figura 15 demonstra a localização e a operação dos pilotos em fase de testes.

Tabela 2 – Dados finais do período de teste dos pilotos em Florianópolis.

	Volumes (L)		
	Produzido	Restante na bandeja	Total
P1	1,779	1,185	2,964
P2	1,537	1,420	2,957

A dissonância entre os valores produzidos é devido ao dia 29/06 onde ocorreu um pico na produção na Piloto 1, sem motivo reconhecido. Retirando esta produção atípica, as médias de produção diária foram 0,132 mL para P1 e 0,128 mL para P2. O total coletado em cada uma é bem próximo dos 3 litros que foram alimentados.

Diante dos resultados obtidos, verifica-se que os pilotos produziram, em média, a mesma porção diária de água destilada e no

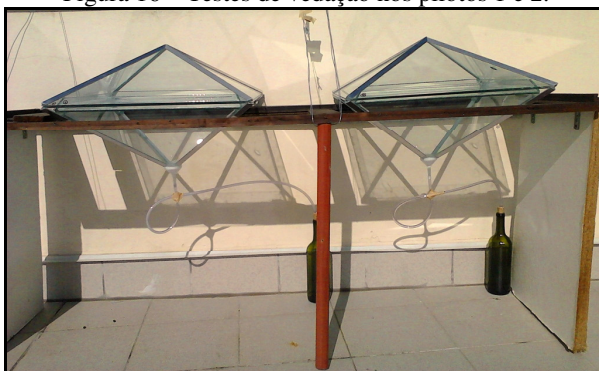
final da experiência de duas semanas, os dois indicaram uma vedação suficiente no testes realizados em Florianópolis – SC.

Os testes realizados em Foz do Iguaçu – PR em 23 de Julho a 29 de Agosto validaram a vedação dos pilotos que sofreram transporte até o município. Nestes testes não foi possível medir o quanto de água restou na bandeja, pois o intuito era testar os pilotos para já operá-los, sem reabri-los. Então se aguardou ao máximo as bandejas secarem, entretanto ainda restaram pequenos volumes de água nos cantos das bandejas que não evaporaram. O total obtido na coleta de água destilada foi de 2,936 mL para P1 e 2,850 para P2, de 3 litros que foram abastecidos os pilotos. As médias de produção diária foram de 0,173 mL e 0,168 mL para os pilotos 1 e 2 respectivamente.

Considerando os volumes restantes nas bandejas e os volumes faltantes no somatório, resolveu-se reforçar as vedações com outra camada de silicone. Durante os meses em operação efetiva, outras demãos foram dadas para garantir a vedação dos pilotos, pois o silicone apresentou desgastes.

Os defeitos nas vedações quando encontrados, eram muito pequenos e já reparados. Não se notou diferença nos níveis de água das bandejas P1 e P2. Porém no início do mês de Novembro, adicionou-se 350 mL em cada bandeja por conta de perdas durante as medições e evasões.

Figura 16 – Testes de vedação nos pilotos 1 e 2.



Na Figura 16 apresenta o período de testes realizados em Florianópolis/SC, onde se notou que houve geração de pressão dentro dos reservatórios que impedia a entrada de água destilada. Para resolver este problema, igualaram-se as pressões interna e externa ao sistema por meio da introdução de uma agulha de 0,80 mm na rolha que selava o

reservatório. Este orifício mínimo impede que haja perda de vapor significativa.

4.2. Estudos das Coletas Diárias

Neste tópico são avaliadas as relações entre os dados climáticos obtidos diariamente com as produções de água dos pilotos 1 e 2. Em 1° de Setembro, se iniciaram as coletas realizadas diariamente, e a partir de 08 de Outubro foram divididas em diurnas e noturnas até dia 24 de Dezembro onde as medições foram cessadas, totalizando 115 dias de operação dos pilotos. A Tabela 3 apresenta o somatório dos valores coletados durante os meses em que os pilotos estiveram em funcionamento.

Tabela 3 – Valores mensais de produção de água para P1 e P2.

Produção Acumulada mensal de água destilada					
Mês	Total Dias	P1		P2	
		(L)	(L/m².d)	(L)	(L/m².d)
Setembro	30	6,676	1,014	4,399	0,711
Outubro	31	6,193	0,986	3,791	0,604
Novembro	30	7,067	1,163	3,715	0,611
Dezembro	24	5,434	1,182	3,059	0,692
Total	115	25,1	1,080	14,8	0,652

Nota-se que há quase o dobro de produção para a P1 em relação a P2, totalizando 25,1 litros e 14,8 litros para os pilotos 1 e 2 respectivamente durante os 4 meses. Ou seja, P2 produziu apenas 59% do que P1 obteve de água destilada. Esta diferença comprova a influência dos cascalhos, mas não responde em qual período foi esta atuação. A média ponderada da produção mensal em toda a operação para P1 foi de 6,38 L e para P2 foi de 3,77 L.

Na Tabela 4, pode-se observar a influência sazonal na temperatura da água da bandeja. As temperaturas mensais da água das bandejas foram calculadas através da média aritmética entre os valores máximos e mínimos diários registrados na planilha pelas medições nos termômetros digitais.

Tabela 4 – Valores mensais para P1 e P2.

Mês	Médias da Temperatura		
	Máxima da Água da Bandeja (°C)		Máxima Ambiente
	P1	P2	
Setembro	50,15	48,25	28,6
Outubro	48,61	46,56	30,1
Novembro	55,12	53,33	31,3
Dezembro*	55,70	52,13	31,7

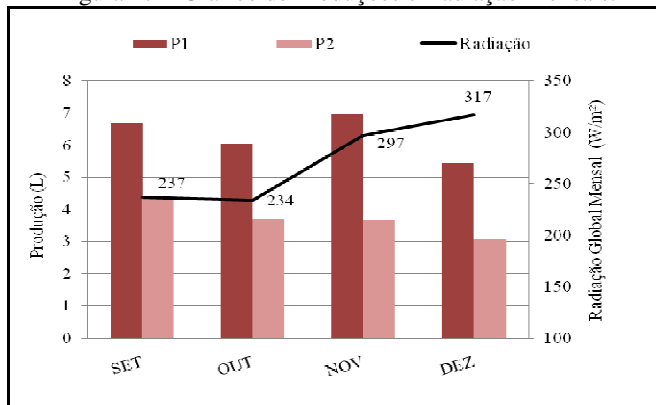
*No mês de Dezembro, as coletas foram realizadas até o dia 24.

No mês de Setembro, na mudança do inverno para a primavera, a diferença foi de 1,9 graus entre as duas bandejas. Já nos finais de Dezembro ocorre a mudança da primavera para o verão, porém em Foz do Iguaçu este aumento de temperatura já é conferido no início do mês que já possui altas temperaturas. Por isso, neste mês, a diferença entre as temperaturas máximas da água das bandejas foi de 3,6°C.

Assim fica estabelecida a relação entre a temperatura da água e do ambiente externo aos pilotos. Porém a maior relação é encontrada com a radiação e a temperatura da água, pois além de aquecer a água, interage com as britas desencadeando em mais calor no ambiente interno dos pilotos.

Com o aumento da radiação, tem-se o aumento das produções, porém cada piloto reage com intensidades diferentes a este acréscimo. Isto pode ser conferido com clareza ao compararem-se os meses de produção com a radiação da Figura 17.

Figura 17 – Gráfico de Produções e Radiação Mensais.



Esta diferença de reação que os pilotos têm à radiação fica clara na comparação do mês de Outubro com o de Novembro. A radiação global aumentou cerca de 60 W/m², a produção de P1 teve um acréscimo de 19% enquanto P2 teve um leve decréscimo. Estes valores demonstram a viabilidade da utilização das britas na bandeja em locais que possuam, entre outras características, abundância de radiação. Os dados de radiação global mensal utilizados para o gráfico foram obtidos pela média aritmética dos valores de radiação global diária coletados para os respectivos meses.

A Tabela 5 apresenta a relação entre a produção dos pilotos e a pluviometria em datas escolhidas com significativos valores de chuva. A intenção é novamente prever o comportamento das britas em dias chuvosos e nublados.

Tabela 5 – Dados de produção e precipitação - 2012.

Data	Prod. diária (mL)		Temperatura Máxima (°C)			Descrição Precipitação	Condições Tempo*
	P1	P2	P1	P2	Ambiente		
09/09	19	8	27,9	27,0	28	Forte	Encoberto
19/09	42	27	26,6	26,1	22	Pancada	Nublado
20/10	23	15	52,8	50,8	28	Forte	Encoberto
25/10	180	127	52,6	51,0	28	Forte	Nublado
23/11	35	24	55,9	52,8	32	Forte	Encoberto
29/11	70	11	27,1	26,4	33	Forte	Encoberto
21/12	124	42	56,1	52,9	34	Pancada	Nublado

*Nebulosidade: Encoberto (4-7/8); Nublado (8/8).

Durante a experiência, foram registrados eventos de chuviscos, chuva, granizo e pancada, porém estes dados apenas possibilitam uma caracterização da condição atmosférica no dia do acontecimento para melhor quantificar a radiação recebida pelos pilotos. O tempo dito encoberto ou nublado diminui a produção dos pilotos, pois as nuvens acumuladas impedem a passagem da radiação, além de caracterizar o dia com temperaturas mais amenas.

Porém, mesmo em dias mais chuvosos, o Piloto 1 teve vantagem na produção em relação ao Piloto 2. Na média destes dados apresentados pela Tabela 5, P2 produziu apenas 51% do que P1 nestas datas. Analisando as temperaturas máximas coletadas nestes dias para o ambiente e das águas das bandejas, pode-se notar que P1 se manteve

mais aquecida que P2 e ao se aproximar do mês de Dezembro, esta diferença foi ficando maior.

Em 09 de Setembro, a diferença entre a temperatura das bandejas foi de 0,9 graus e no dia 21 de Dezembro, 3,2 graus. Sabe-se que a temperatura da água da bandeja é um dos principais influentes da evaporação que intervém diretamente na produção.

Já para dias com sol ou baixa nebulosidade, onde se imagina que a água da bandeja não se resfrie muito, tem-se a Tabela 6 composta de dados de Novembro, mês onde se encontrou o maior número de dias seguidos sem precipitação.

Tabela 6 – Dados de produção para dias sem chuva consecutivos em Novembro-2012.

Produção Diária (L)		Temperatura Amb. (°C)		Temp. Agua Band. P1 (°C)		Temp. Agua Band. P2 (°C)		Radiação Global W/m²	
Dia	P1	P2	Mín	Máx	Amplit	Manhã	Noite	Máx	Mín
10	0,185	0,119	19	33	14	22,6	29,2	55,6	19,6
11	0,301	0,206	21	32	11	22,0	30,8	59,0	21,9
12	0,228	0,188	20	27	7	23,2	33,1	56,1	19,0
13	0,334	0,206	17	30	13	19,1	29,9	57,4	18,0
14	0,158	0,081	16	30	14	20,1	32,3	57,1	17,8
15	0,256	0,153	15	30	15	19,4	24,8	57,4	17,5
16	0,295	0,166	15	33	18	23,8	33,2	58,3	18,1
17	0,183	0,112	15	32	17	21,4	33,4	58,8	19,8
18	0,314	0,063	17	33	16	22,4	34,7	55,0	21,0

*Todos os dias apresentaram 0 mm de precipitação.

Nos dias, 10 a 18 de Novembro, as produções diárias de cada piloto foram altas em comparação com outros intervalos. Este incremento é devido a uma série de fatores que podem ser responsabilizados através da observação da Tabela 6 transcrita da tabela de acompanhamento dos dados dos pilotos. Como a experiência não se realizou também em períodos de frio, todos os efeitos atribuídos a temperatura são supostos e poderiam ser confirmados caso houvesse aplicação dos pilotos na época do inverno.

A radiação influencia diretamente na evaporação, porém a temperatura do ambiente é também fator importante. Os pilotos trocam calor com o ambiente, e caso este esteja com menor temperatura, o equipamento cede calor, resfriando-se. No período em foco, a média da temperatura ambiente máxima é de 31°C e mínima de 17°C. A alta média - 31°C - favorece o funcionamento dos pilotos que se mantêm aquecidos até momentos seguintes ao pôr do sol.

Já a média da temperatura mínima do ambiente, 17°C, encontrada nas madrugadas dos dias selecionados, desfavoreceu a operação dos pilotos no período noturno, pois a temperatura da água nas bandejas logo pela manhã ficou na média de 21,5°C para P1 e 21,1°C para P2. A pequena diferença entre estes valores demonstra que houve um resfriamento nas águas das bandejas. Entretanto, por não ser uma média baixa de temperatura, não houve interferência no bom funcionamento dos pilotos durante o período de sol.

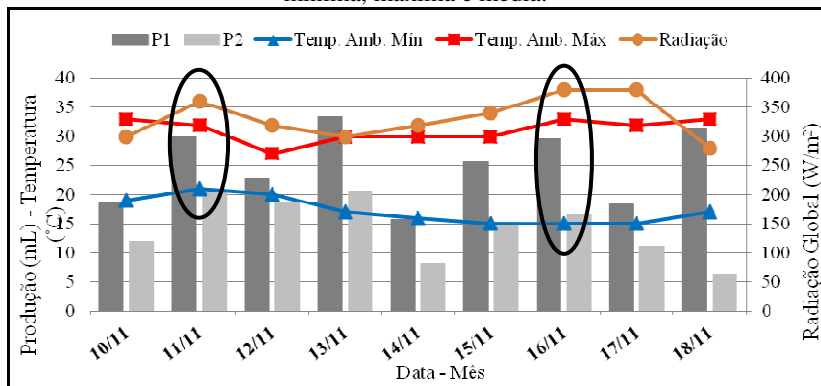
Outro esclarecimento que a leitura das temperaturas trata sobre o resfriamento similar em ambas as bandejas, como por exemplo, no dia 13/11 onde as duas bandejas perderam 10°C cada uma. Isso demonstra que as britas no P1 não impediram o resfriamento da água.

Todos os dias observados na Tabela 6 foram com nuvens esparsas ou poucas, o que favoreceu a média de radiação de 330 W/m². Este dado contribuiu para as temperaturas máximas encontradas nas bandejas que foram de 57°C para P1 e 55°C para P2, em média. As altas temperaturas diurnas alcançadas por P1 explicam a maior produção diária de água em comparação à P2. O Piloto 1 produziu 250 mL no intervalo e o Piloto 2 com 143 mL, cerca de 57% em comparação das médias.

Por meio da Figura 18, é possível constatar uma relação entre a amplitude térmica e a diferença de produção entre P1 e P2. No dia 16/11 teve-se uma grande amplitude na temperatura do ambiente e por consequência, P1 produziu quase o dobro de P2. Já no dia 12/11, onde a amplitude foi de apenas 7 graus, as produções de P1 e P2 ficam próximas. Apesar de que a radiação foi diferente nos dois dias citados e para estes dados, pode-se estabelecer uma relação entre produção e a

amplitude da temperatura ambiente. Nos dias de maior amplitude, 16, 17 e 18/11, encontraram-se também as maiores diferenças entre produções, ganhando sempre P1.

Figura 18 – Produção de água em função da Radiação e Temperatura Ambiental mínima, máxima e média.



Supõe-se que isto aconteça porque a transição de um momento de altas temperaturas para um de baixas acarreta em um acréscimo da taxa de condensação. Quando a cúpula é resfriada, a taxa de condensação das gotículas aumentam, como foi visto na revisão bibliográfica, e assim eleva-se a produção de água destilada. A vantagem constante para P1 é atribuída às britas que aumentam a temperatura da água do piloto, aumentando também a temperatura interna que se difere ainda mais da externa, favorecendo a condensação.

4.3. Estudo nas Bandejas de Evaporação

Para se testar em qual período a atuação do cascalho ocorre, são necessários os dados das coletas diurnas e noturnas iniciados em Outubro. Baseando-se na Tabela 7, pode-se avaliar o desempenho da aplicação do material.

Tabela 6 – Dados de produção de água em Novembro-2012.

Produção de água em Novembro-2012		
	P1	P2
	(L) – (%)	(L) - (%)
Diurna	6,585 – 93%	3,456 – 93%
Noturna	0,482 – 7%	0,259 – 7%
Total	7,067 – 100%	3,715 – 100%

Ao comparar os resultados dos pilotos através da Tabela 7, permitem-se afirmar que as produções diurnas e noturnas dos pilotos foram proporcionalmente iguais, sendo elas 93% e 7% respectivamente. Apesar de P1 ter produzido mais, pode-se inferir que o material contido neste piloto não fez diferença quanto à produção noturna, pois a porcentagem das coletas permaneceu igual. Soares (2004), que trabalhou com um potabilizador sem adições de materiais na bandeja, relata que em seu projeto cerca de 30% da produção diária provinha da produção noturna, porcentagem distante da encontrada nesta pesquisa.

Como afirmado no item 2.2., a produção de um destilador solar é afetado por diversos parâmetros, e seus resultados não podem ser comparados. Por isso, a grande diferença entre as porcentagens de produção noturnas não podem ser explicadas aqui, porém podem ser compreendidas pela possível mudança em parâmetros influentes e a localização geográfica diferente de cada pesquisa.

As medidas de temperatura nas coletas matinais trazem valores muito próximos, pois em vários dias as temperaturas no período da manhã estavam igualadas ou até mesmo casos onde a temperatura de P2 era levemente maior. A Tabela 8 apresenta esta situação onde a coleta diurna foi realizada no horário de nascer do sol e a noturna, uma hora após o pôr do sol.

Tabela 7 – Temperaturas médias para coletas diurnas e noturnas.

Temperaturas médias da água da bandeja nas coletas (°C)						
Coleta	Outubro		Novembro		Dezembro	
	P1	P2	P1	P2	P1	P2
Diurna	20,95	20,74	21,13	20,94	23,98	23,68
Noturna	26,85	25,94	30,79	29,46	31,58	30,66

Pela Tabela 8, constata-se que a diferença entre as temperaturas das coletas matinais é pequena quando comparadas as noturnas, ficando em média 0,23°C para as coletas diurnas e 1,05°C para as coletas noturnas. Estes dados são outra evidência da não influência das britas no período noturno, pois o objetivo da inserção era manter a água quente durante a noite. Porém, como se nota, em dado momento da madrugada os valores de temperatura se igualam, demonstrando que o cascalho já cedeu todo seu calor à água.

A temperatura é o principal parâmetro para que se avalie a utilização de materiais na bandeja, pois o aumento de produção pode ser devido a outros fatores se os pilotos não forem operados com igualdade como, por exemplo, diferentes volumes de água na bandeja.

Por isso, a seguir estão apresentados, em gráficos, os dados das leituras horárias de temperaturas coletado desde a manhã até a noite (14 horas), como explicado na metodologia do trabalho. Como as coletas duas vezes ao dia ocorreram após o mês de setembro, são apresentados perfis de temperatura de três dias dos meses de Outubro, Novembro e Dezembro.

Figura 19 - Perfil de temperatura mês de Outubro.

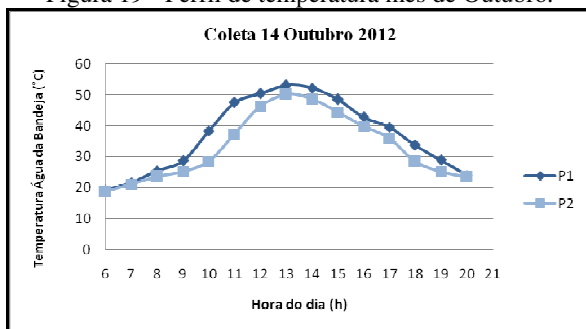


Figura 20 - Perfil de temperatura mês de Novembro.

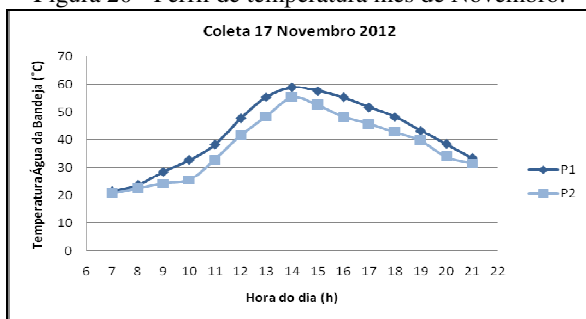
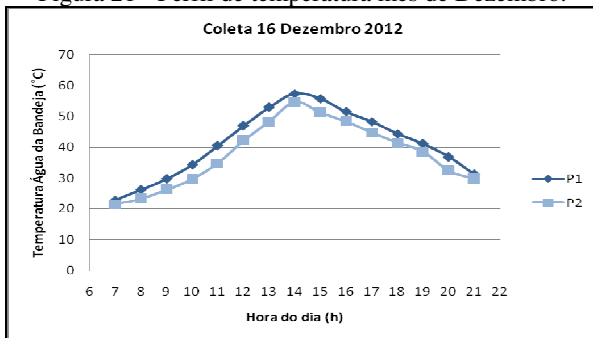


Figura 21 - Perfil de temperatura mês de Dezembro.



Como pode-se notar pelos contornos térmicos apresentados na Figura 19, há uma diferença entre as temperaturas em P1 e P2 ao longo do dia, porém os pontos partem juntos as 6 h e voltam a se encontrar em 20 h. Este fato demonstra que as britas são úteis durante o período de sol, onde aumentam a temperatura da água e por consequência a produção. A Tabela 9 apresenta as produções dos dias 14/10, 17/11 e 16/12 de 2012:

Tabela 8 – Volumes de produção diurna e noturna em dias de coletas 14 h.

Datas	Produção volumétrica dos Pilotos (L)			
	P1		P2	
	Diurna	Noturna	Diurna	Noturna
14/10/2012	0,209	0,014	0,120	0,011
17/11/2012	0,171	0,012	0,104	0,008
16/12/2012	0,188	0,011	0,103	0,007

Comparando os pilotos a partir da Figura 20, pode-se afirmar que P2 produziu apenas 60% do que P1 proveu de água no período com sol e nesta data. Já para a produção da noite, P2 produziu 67% do que P1 rendeu, sendo este aumento porcentual devido à menor atividade das britas à noite. Para o autor Sampathkumar *et al.* (2012), as britas pretas reduzem a quantidade de água na bandeja e assim aumentam a taxa de produção diária do destilador em 8%.

A partir da Figura 20 do mês de Novembro pode-se também notar que as temperaturas partem juntas no período da manhã, mas na última medição do dia, as 21 h, as temperaturas encontram-se mais distantes, sendo elas 33,2°C para P1 e 32,1°C para P2. Isto demonstra o funcionamento das britas que mantêm a temperatura mais alta até momentos próximos do pôr do sol nas condições deste dia observado.

Comparando então os meses de Outubro e Dezembro, percebe-se um ligeiro acréscimo na temperatura de P1 em relação à P2 na primeira coleta do dia e na última. Isto porque neste mês se iniciam altas temperaturas ambientes e maior radiação global, principal fator impulsionante da evaporação, o que favorece a atuação das britas que aumentam estas temperaturas.

Durante os três meses pode-se notar que as máximas temperaturas alcançadas pelas águas das bandejas aconteceram as 13 h e após a mudança do horário de inverno para verão, as 14 h. Ignorando a mudança pela troca das estações, os horários de pico apresentados são

os mesmos, afirmando que os picos ocorrem geralmente no mesmo período do dia.

Outra observação válida é sobre as medições diárias de temperatura da água máxima e mínima. Através dos dados recolhidos na Tabela de Acompanhamento dos pilotos, pode-se conferir que para as temperaturas máximas, P1 obteve valores maiores que P2 na casa de dois ou mais graus. Entretanto, esta mesma possui temperaturas mínimas iguais as de P2. A Tabela 10 demonstra valores médios de temperatura para casa mês de operação.

Tabela 9 – Dados de temperaturas máximas e mínimas da água da bandeja.

Temperatura diária da água da bandeja (°C)				
Mês	Máximas		Mínimas	
	P1	P2	P1	P2
Setembro	50,15	48,25	15,12	15,39
Outubro	48,61	46,56	18,14	18,22
Novembro	55,12	53,33	19,99	19,97
Dezembro	55,70	52,13	22,35	22,20

Estes dados demonstram que as britas não conseguiram manter a temperatura elevada ao longo do período noturno. O Piloto 1 se resfriou, na média, cerca de 33°C enquanto o Piloto 2, cerca de 31°C. Estes valores demonstram que P1 perdeu mais calor ao comparar-se com P2. Os dados apontam que as britas aqueceram mais a água no período diurno, porém no período sem sol, as mesmas acabaram por resfriar mais a água. Este resfriamento demasiado na água da bandeja P1 pode ser devido ao tamanho das britas que influencia em sua capacidade térmica.

4.4. Análise Econômica e Ambiental

Além de ser o orçamento do projeto, esta análise econômica pode ser aceita como análise ambiental. O projeto do Potabilizador Solar é uma tecnologia limpa, pois não utiliza energias fósseis, apenas a solar e ainda, como ponto positivo ambientalmente, tem-se a não utilização de reagentes químicos para o tratamento da água, implicando na não geração de resíduos do processo.

Os custos deste projeto se baseiam então em três pontos: os insumos, a matéria-prima e a energia. O custo de operação é nulo, pois o

processo de destilação é alimentado apenas por energia solar. A matéria-prima a ser trabalhada é a água fora dos padrões de potabilidade, isto é, um recurso disponível no ambiente. Então, como custos do projeto, restam apenas os insumos para a produção do aparelho. Na Tabela 11 estão apresentados tais materiais e seus respectivos custos.

Tabela 10 – Custos de 2 pilotos de Potabilizador Solar de vidro e Equipamentos

Descrição	Detalhamento	Quant.	Valor unitário (R\$)	Valor total (R\$)
Vidraria	4 Cúpulas	16 un	15,53	248,58
	Bandeja	2 un	20,71	41,42
Materiais de consumo	Arestas de Alumínio	5 m	6,70	33,50
	Bisnagas de silicone	3 un	8,50	25,50
	Mangueiras de nível	3 m	0,60	1,80
	Funil	2 un	2,00	4,00
	Lima	1 un	13,70	13,70
	Serra	1 un	7,90	7,90
Equip.	Termômetro digital	2 un	35,00	70,00
Total				446,40

A realização deste tipo de análise tem relevante importância em projetos de engenharia, pois assim pode-se melhor viabilizar o equipamento às realidades de atuação deste. Todo processo de purificação de água possui custos que dependem do capital inicial demandado. Este capital inclui materiais, operação e energia, porém no caso do potabilizador ou destilador solar este custo inicial se sujeita apenas ao custo material. Por ter sua operação minúcia e montagem facilitada, não há necessidades de gastos com estas atividades.

O proposto neste trabalho traz avanço para tecnologia que por aperfeiçoamento, atende melhor uma unidade familiar que utilize o sistema de potabilização solar. Usufruindo de uma água potável, inúmeros benefícios diretos e indiretos são atribuídos aos usuários deste aparelho.

Como já dito, a água contaminada é um veículo transmissor de doenças que causam alto índice de mortalidade ainda nos dias de hoje. Este avanço tem repercussão social, pois melhora as condições de vida dos usuários; viável economicamente por ser uma tecnologia de pouco custo e manutenção; e sanitária, pois oferece uma água que atende a padrões de potabilidade.

5. Conclusões e Recomendações

Pode-se concluir a partir da pesquisa realizada que:

- A construção dos pilotos com 30° de inclinação foi suficiente para o bom funcionamento dos aparelhos. O novo design com sifão e reservatório desacoplado funcionou como esperado;
- A vedação provida pelo silicone durante a montagem dos pilotos foi comprovada suficiente pelos testes;
- As britas basálticas apresentam características físicas favoráveis ao aquecimento da água, porém no período sem sol o efeito foi contrário, resfriando a massa líquida;
- Apesar das britas não manterem o calor ao longo da noite, as produções de água noturnas foram maiores em P1 comparando a P2, entretanto se igualam em proporção diurna e noturna;
- A eficiência agregada à P1 que continha britas se concentrou no período diurno.

Recomenda-se que para próximas pesquisas que utilizar o Potabilizador Solar de vidro:

- Se possível, aplicar cantoneiras de alumínio, como nas cúpulas, em todas as arestas do aparelho impedindo que exista contato direto entre o sol e o silicone;
- Realizar testes com mais tipos de matérias inseridos nas bandejas ou mesmo com maior volume de britas. Isto poderá aumentar ainda mais a produção;
- Testar o funcionamento dos pilotos nas duas estações que mais se destacam: verão e inverno, para comparação de dados;
- Estudar o comportamento da temperatura num período de 24 horas;
- Testar a reação da bandeja quando inseridos materiais e água contaminada, salobra ou salgada;
- Estudar mais precisamente o motivo pelo qual as britas resfriam a água no período noturno.

6. Referências Bibliográficas

ABDALLAH, S.; ABU-KHADER, M.M.; BADRAN, O. Effect of various absorbing materials on the thermal performance of solar stills. **Desalination**, v. 242, p. 128-137, 2009.

AL-HAYEK, I.; BADRAN, O. O. The effect of using different designs of solar stills on water distillation. **Desalination** v.169, p.121-127, 2004.

AL-HINAI, H., AL-NASSRI, M.S., JUBRAN, B.A. Effect of climatic, design and operational parameters on the yield of a simple solar still. **Energy Conversion and Management**, v. 43, p. 1639–1650, 2011.

ANDRADE, M.A.R. **Desempenho de um dispositivo pavio/meio poroso na elevação da taxa de evaporação em destiladores solares convencionais**. Tese de doutorado em Engenharia Mecânica, Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa – PB. 98p. 2004.

ARSLAN, M. Experimental investigation of still performance for different active solar still designs under closed cycle mode, **Desalination**, v. 307, p. 9-19, 2012.

BADRAN, O.O. Experimental study of the enhancement parameters on a single slope solar still productivity. **Desalination**, v. 209, p. 136-143, 2007.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília: Senado Federal, 1988.

_____. **Lei Federal Nº 9.433 - Política e Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos**. Brasília, 1997.

_____. Ministério da Saúde. **Portaria MS nº 2.914**, de 12 de Dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

COSTA, C.G. **Destilação Solar: aplicação no tratamento de efluentes líquidos de laboratório**. Pós-Graduação em Química, Instituto de Química, Universidade de Brasília – UnB, Brasília, 2008. 94p.

DANIEL, J.E.S.; GNANADASON, M.K.; KUMAR, P.S.; SIVARAMAN, G. Design and performance analysis of a modified vacuum single basin solar still. **Smart Grid and Renewable Energy**. **Smart Grid and Renewable Energy**, v.2(4), p. 388(8), 2011.

DEV, R., TIWARI, G.N. Characteristic equation of the inverted absorber solar still. **Desalination**, v. 269, p. 67-77, 2011.

DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W.A. **Solar Engineering of Thermal Processes**. 2 ed. USA: Wiley-Interscience, 919p. 1991.

ESTEBAN, C.; FRANCO, J.; FAULO, A. Construction and performance of an assisted solar distiller. **Desalination**, v. 173, p. 249-255, 2005.

FERRARI, G. **Avaliação de aspectos construtivos e operacionais da tecnologia de destilação solar natural para tratamento de água e sua eficiência na remoção de cianotoxinas**. Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 50p. 2008.

FUENTES, R.; ROTH, P. **Teoria de La Destilacion Solar em Vacio**. Revista facultad de Ingenieria, U.T.A. Chile, v. 4, 1997.

FORMOSO, S.C. **Sistema de tratamento de agua salobra: alternativa de combate a escassez hidrica no semi-arido sergipano**. Núcleo de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Universidade Federal de Sergipe, São Cristovão, 2010. 119p.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R.; **Manual de conforto térmico**, 2ª edição. Nobel, São Paulo, 243 p. 1995.

GALVANI, E.; ESCOBEDO J.F.; PEREIRA, A.B. **Balanco de radiação e fluxo de calor no solo em ambiente natural e protegido cultivado com pepineiro**. Bragantia, Campinas, v. 60, n. 2, 2001.

GALVEZ, Julián B. **Fundamentos Basicos de la Desalación de Aguas**. Taller Internacional Nuevas Tecnologías para La Descontaminación y Provisión de Agua en Zonas Rurales. Lima. Peru, 2006.

GARG, H.P., MANN H.S. Effect of climatic, operational and design parameters on the year round performance of single-sloped and double-sloped solar still under Indian arid zone conditions. **Solar Energy**, v. 18, p. 159-163, 1976.

GHONEYEM, A. Software to analyze solar stills and an experimental study on the effects of the cover. **Desalination** v.114, p.37-44, 1997.

GNANADASON, M.K.; KUMAR, P.S; SIVARAMAN, G.; DANIEL, J.E.S. Design and performance analysis of a modified vacuum single basin solar still. **Smart Grid and Renewable Energy**, v. 2(4), p. 388(8), 2011.

GOMELLA, Cyril. **La Sed del Mundo**. Editorial Labor. Barcelona, 1973.

GOMKALE, S.D.; DATTA, R.L. Some aspects of solar distillation for water purification. **Solar Energy**, v. 14, p. 387-392, 1973.

HALLIDAY, D., RESNICK, R., WALKER, J. **Fundamentos de Física 2: Gravitação, Ondas e Termodinâmica**. 4ed. São Paulo: LTC. 1991.

HAMED, O.A., EISA, E.I., ABDALLA, W.E. Overview of solar desalination, **Desalination**, v. 93, p. 563-579. 1993.

HANSON, A. *et al.* ; Distillate water quality of a single-basin solar still: laboratory and field studies. **Solar Energy** v.76, p.635-645, 2004.

Incropera, Frank P. e Dewitt, David P. **Fundamentos de Transferência de Calor e Massa**. LTC. Rio de Janeiro, 2002.

JORGE, B. M. J. **Simulação de processos de destilação solar de água salgada**. Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa. 2011. 103 p.

KABEEL, A.E., EL-AGOUZ, S.A. Review of researches and developments on solar stills, **Desalination**, v. 276, p. 1-12, 2011.

LENZI, Fernanda. S. **Remoção do Carbonofurano por Meio da Destilação Solar Natural**. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 60p. 2009.

MAHDI, J.T., SMITH, B.E., SHARIF, A.O. An experimental wick-type solar still system: Design and construction. **Desalination**, v. 267, p. 233-238, 2011.

MALIK, M.A.S., TIWARI, G. N., KUMAR, A., SODHA, M. S. **Solar Distillation**. Pergamon Press, Oxford, U.K. 1982.

MANDLIN J.; VELMURUGAN, V.; STALIN, B.; SRITHAR, K. Augmentation of saline streams in solar stills integrating with a mini solar pond, **Desalination**. v. 249, p. 143-149, 2009.

MARQUES, N.L.R.; ARAUJO, I.S. Física térmica: Textos de apoio ao professor de física. UFRGS, Instituto de Física. Porto Alegre, 2009. 73 p.

MURAKAMI, Dimas T. **Potabilização de Água Utilizando um Destilador Solar em Forma de Pirâmide Invertida**. 31p. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 31 p., 2005.

MURUGAVEL, K.K.; SIVAKUMAR, S.S.; AHAMED, J.R.; CHOCKALINGAM, K.K.S.K.; SRITHAR, K. Single basin double slope solar still with minimum basin depth and energy storing materials, **Applied Energy**, v. 87, p. 514-523, 2010.

NAIM, M.M.; KAWI, M.A. Non-conventional solar stills Part 2. Non-conventional solar stills with energy storage element. **Desalination**. v. 153(1), 2003, p.71-80.

NBR 7211 – **Agregados para concreto, especificação**. 1982. 9p.

NBR 9935 – **Agregados, terminologia**. 2011. 16p.

OLIVEIRA, A.M. e BRITO, S. N. **Geologia de Engenharia**. ABGE. São Paulo. 1998.

PATERNIANI, J.E.S.; SILVA, M.J. **Desinfecção de efluentes com tratamento terciário utilizando energia solar (SODIS): avaliação do uso do dispositivo para concentração dos raios solares**. Eng. Sanit. Ambient., Rio de Janeiro, v. 10, n. 1, Mar. 2005.

REIF, L. **Produção de águas através da destilação solar natural utilizando uma pirâmide metálica.** Relatório Parcial PIBIC-CNPQ, 2006.

SAMPATHKUMAR, K.; MAYILSAM, K.; SHANMUGAM, S.; SENTHILKUMAR, P. An experimental study on single basin solar still augmented with evacuated tubes. **Thermal Science**, v. 16(2), p. 573, 2012.

SATCUNANATHAN, S.; HANSEN, H.-P. An investigation of some of the parameters involved in solar distillation. **Solar Energy**, v. 14, p. 353-363, 1973.

SENE, J. **Potabilização de Águas Salobras e Salgadas em Nível de Domicílios.** Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, 2000.

SILVA, M.C.C. **Estudos sobre Destilação Solar para Potabilização de Água em Regiões de Estresse Hídrico.** 2011. 127p. Documento de Qualificação para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Ambiental - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2011.

SOARES, C. **Tratamento de Água Doce Contaminada Através da Destilação Solar para Uso Domiciliar.** Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, 2001.

SOARES C. **Tratamento de Água Unifamiliar através da Destilação Solar Natural Utilizando Água Salgada, Salobra e Doce Contaminada.** Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. Florianópolis, SC, 110p. 2004.

SOUZA, M.A.S.B. **Estudos da viabilidade da destilação solar para polimento de águas produzidas de petróleo.** Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 149 p. 2010.

SZULMAYER, W. Solar stills with low thermal inertia. **Solar Energy**, v. 14, p. 415-421, 1973.

TAAMNEH, Y.; TAAMNEH, M.M. Performance of pyramid-shaped solar still: Experimental study. **Desalination**, v. 291, 2012, p.65-68.

TABRIZI, F.F.; SHARAK, A.Z. Experimental study of an integrated basin solar still with a sandy heat reservoir, **Desalination**, v. 253, p. 195-199, 2010.

TIWARI, A. K., TIWARI, G. N. Thermal Modeling Based on Solar Fraction and Experimental Study of the Annual and Seasonal Performance of a Single Slope Passive Solar Still: The Effect of Water Depths. **Desalination**, v. 207, p. 184-204, 2007.

TIWARI, G.N.; RAHUL DEV. Characteristic equation of a hybrid (PV-T) active solar still. **Desalination**, v. 254, p. 126-137, 2010.

TIWARI, G.N.; TIWARI, A.K. **Solar Distillation Practice for Water Desalination Systems**. Anamaya Publishers. New Deli, Índia, 2008.

TLEIMAT, B.W., HOWE, E.D. Comparison of plastic and glass condensing covers for solar distillers. **Solar Energy**, v. 12, p. 293-296, 1969.

TSGA. **Projeto Tecnologia Social para Gestão da Água**. Potabilizador Solar. Disponível em: <http://www.tsg.agua.ufsc.br>. Acessado em: 24/02/2012.

VELMURUGAN. V.; PANDIARAJAN, S.; GURUPARAN, P.; HARIHARA, L.; PRABAHARAN, C.D.; SRITHAR, K. Integrated performance of stepped and single basin solar stills with mini solar pond, **Desalination**. v. 249, p. 902-909, 2009.

ZUO, L., ZHENG, Y., LI, Z., SHA, Y. Solar chimneys integrated with sea water desalination, **Desalination**, v. 276, p. 207-213, 2011.